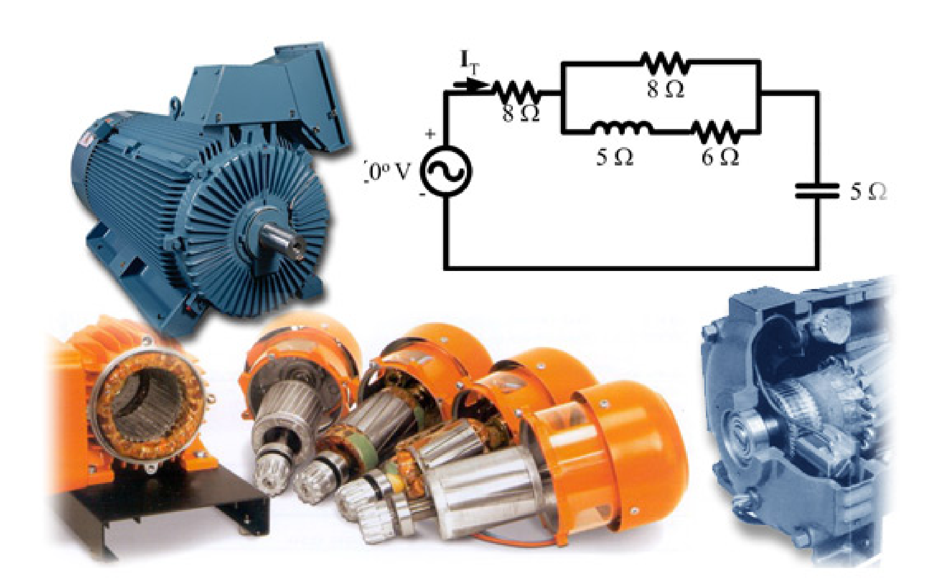


آلات و معدات كهربائية

إلكترونيات القدرة

٢٤٢ كهر



الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " إلكترونيات القدرة " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

يعتبر علم إلكترونيات القدرة من العلوم الهامة في حياتنا العملية إذ لا يخلو أي مصنع من دائرة من الدوائر المتعددة لإلكترونيات القدرة، وحتى المنزل حيث تحتوي بعض الأجهزة المنزلية على مثل تلك الدوائر. أيضا السيارة التي نستعملها لا تخلوا من هذه الدوائر.

المقصود بإلكترونيات القدرة هي تلك الدوائر، والتي تحتوي على عنصر أو أكثر من عناصر أشباه الموصلات، التي يمكنها التعامل مع قدرات عالية بحيث يمكن استخدامها في مجال القوي الكهربية. حيث تستخدم دوائر إلكترونيات القدرة للحصول على منبع قدرة بمواصفات خاصة للجهد والتردد. حيث يمكن التحويل من صورة إلى أخرى لمصدر القدرة، فمثلا يمكن الحصول على جهد متغير التردد والقيمة من جهد ثابت القيمة والتردد. ويمكن أيضا الحصول على جهد مستمر من منبع جهد متردد، كما يمكن أيضا التحويل من جهد مستمر إلى جهد متردد متغير القيمة والتردد. ولهذا أهمية كبيرة في التحكم في المعدات الكهربية، توليد ونقل وتوزيع القدرة الكهربية. وخلاصة القول يمكن تعريف إلكترونيات القدرة بأنها تطبيقات أشباه الموصلات للتحكم وتحويل القدرة الكهربية.

توجد مجالات شتى حيث تطبق دوائر إلكترونيات القدرة، وعلى سبيل المثال لا الحصر تستخدم إلكترونيات القدرة في التسخين الكهربي، التحكم في الإضاءة، التحكم في المحركات الكهربية، الجر الكهربي، نقل القدرة بالتيار المستمر، منبع القدرة ضد انقطاع التيار الكهربي UPS، منظمات الجهد، الأجهزة المنزلية الحديثة مثل الثلاجات والغسالات وأجهزه التكييف، التحكم في درجات الحرارة، في المناجم وصناعات الحديد، والتحكم في إشارات المرور.

سنتعرف في هذه الوحدة الأولى على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة بكثرة في كثير من التطبيقات الصناعية والأغراض العامة. أيضا سوف نتعرف على أنواع عناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في تلك الدوائر ودراسة خواصها المختلفة وكيفية عملها وطرق توصيلها في دوائر إلكترونيات القدرة.

أما الوحدة الثانية فتقدم شرح لتركيب وطريقة عمل دوائر التوحيد غيرالمحكومة، حيث نتعرف على الأنواع المختلفة لتلك الدوائر وكيفية حساب القيمة المتوسطة للجهد وكذلك معاملات الأداء الهامة، أيضا سنتعرف على كيفية تنعيم الجهد الخارج من تلك الدوائر وأهم تطبيقاتها.

وتحتوي الوحدة الثالثة على دوائر التوحيد المحكومة، حيث تحتوي هذه الدوائر على الثيرستور كعنصر أساسي للتحكم، وسوف نعرض دوائر التوحيد المحكومة أحادية الوجه وثلاثية الأوجه، ودراسة تأثير زاوية الإشعال للثيرستور على الجهد الخارج وذلك مع حمل مادي وحمل حثي. وفي نهاية الوحدة سوف نعرض أهم التطبيقات لتلك الدوائر.

أما الوحدة الرابعة فتبين كيفية تحويل الجهد المستمر الثابت إلى جهد مستمر متغير، وذلك باستخدام دوائر مقطعات التيار المستمر، سوف نقدم في البداية الأنواع المختلفة لمقطعات التيار المستمر، ثم بعد ذلك نوضح فكرة عمل تلك المقطعات واستخدام الترانزستور في الدوائر المختلفة.

تقدم الوحدة الخامسة دوائر حاكمات الجهد المتردد أو كما تسمى أحيانا مقطعات التيار المتردد، حيث نعرض فكرة عمل تلك الدوائر وأنواعها المختلفة وكيفية التحكم في الجهد المتردد الثابت القيمة. وسوف نعرض أيضا تطبيق تلك الدوائر للتحكم في الإضاءة ودرجات الحرارة.

في حين تتعرض الوحدة السادسة لدوائر العاكس، حيث يستخدم لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد متغير القيمة والتردد. سوف نعرض دوائر العاكس أحادية الوجه وثلاثية الأوجه مع شرح لفكرة العمل. أيضا سوف نوضح أهم التطبيقات لتلك الدوائر.

إن هذا المقرر مفيد للطالب لفهم نظرية عمل وتكوين دوائر إلكترونيات القدرة، أيضا يساعد المتدرب على كيفية تهيئة منبع جهد ذي مواصفات خاصة، علاوة على ذلك يعين المتدرب على تشخيص الأعطال الشائعة لدوائر إلكترونيات القدرة، وكل ذلك يفيد المتدرب الذي سوف يعمل في المجالات الصناعية. وعلى المتدرب أن يكون لديه إلمام بالمبادئ الأساسية للدوائر الكهربية والمبادئ الأساسية للعناصر الإلكترونية حتى تعينه على استيعاب وفهم هذا المقرر بسهولة ويسر.

إن دراسة هذا المقرر تمكن المتدرب من الآتي:

- الإلمام بخواص عناصر إلكترونيات القدرة.
- الإلمام بكيفية استخدام عناصر إلكترونيات القدرة في بناء الدوائر الكهربائية.
- الإلمام بتطبيقات دوائر إلكترونيات القدرة المختلفة في الصناعة.
- الإلمام بأنواع الحماية المطلوبة لدوائر إلكترونيات القدرة
- القدرة على فحص دوائر إلكترونيات القدرة وتحديد الأعطال وإصلاحها.



إلكترونيات القدرة

أشباه الموصلات المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة

أشباه الموصلات المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة

١

الجدارة: دراسة خواص عناصر أشباه الموصلات المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة، وتشمل الدايود والثيرستور بأنواعه وكذلك الترانزستور بأنواعه. مع ذكر طرق التشغيل والحماية والإشعال لكل عنصر.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. التعرف على أهم العناصر الإلكترونية المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة.
٢. دراسة الخواص الكهربية لها.
٣. التعرف على تطبيقات دايود القدرة.
٤. التعرف على طرق إشعال الثيرستور وحمايته.
٥. كيفية تشغيل الترانزستور وطرق حمايته.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ساعات.

الوسائل المساعدة: لا توجد.

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات.

أشباه الموصلات المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة

Semiconductors Used in Power Electronic Circuits

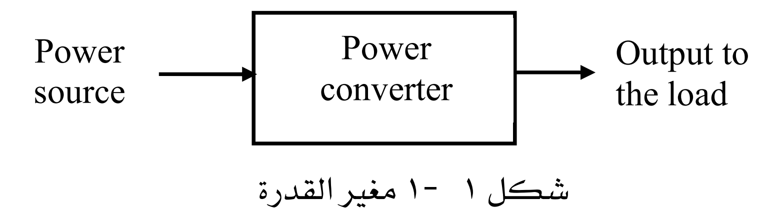
ترجع ثورة الإلكترونيات الأولى إلى عام ١٩٤٨م عندما تم اختراع الترانزستور السليكوني، تلاه اختراع الثيرستور عام ١٩٥٦م. كما بدأت الثورة الثانية عام ١٩٥٨م عندما تم تطوير وإنتاج الثيرستور بشكل تجاري. منذ ذلك الحين بدأ انتشار إلكترونيات القدرة في كثير من التطبيقات الصناعية وازدادت الأهمية مع التقدم المستمر في علم الحواسب و الإلكترونيات الدقيقة، حيث أمكن التحكم في دوائر إلكترونيات القدرة لتتعامل مع كمية قدرة ضخمة بكفاءة عالية.

سنتعرف في هذه الوحدة على دوائر إلكترونيات القدرة المستخدمة بكثرة في كثير من التطبيقات الصناعية والأغراض العامة. أيضا سوف نتعرف على أنواع عناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة في تلك الدوائر ودراسة خواصها المختلفة وكيفية عملها وطرق توصيلها في دوائر إلكترونيات القدرة.

١ -١ أنواع دوائر إلكترونيات القدرة Types of Power Electronic Circuits

تستخدم دوائر إلكترونيات القدرة لتهيئة أو تكييف المنبع الكهربي لتناسب متطلبات الحمل، ومن أهم مميزات تلك الدوائر صغر الحجم والوزن والكفاءة العالية، وتشتمل هذه الدوائر على عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة والتي يتم التحكم فيها عن طريق دوائر إلكترونية مساعدة. ويشار إلى كل دائرة تؤدي غرضا محددا في تهيئة المنبع باسم عام هو "مغير القدرة"، كما يوضحه شكل ١ -١، وكل مغير قدرة يعطى اسما خاصا طبقا لوظيفته المحددة. ويمكن تقسيم دوائر إلكترونيات القدرة طبقا لوظيفة كل منها إلى خمسة أنواع رئيسية وهي :

- Diode rectifiers (uncontrolled rectifiers)
- ac-dc converters (controlled rectifiers)
- ac-ac converters (ac voltage controllers)
- dc-dc converters (dc choppers)
- dc-ac converters (inverters)



شكل ١ -١ مغير القدرة

١ -١ -١ الموحد (المقوم) غيرالمحكوم (uncontrolled rectifier)

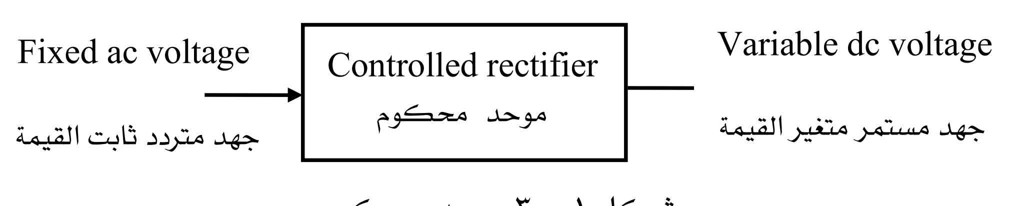
تستخدم دوائر التوحيد غير المحكوم لتحويل الجهد المتردد ثابت القيمة إلى جهد مستمر ثابت القيمة، ويستخدم في هذه الدوائر الدايود، ويمكن أن يكون الجهد الداخل للدائرة أحادي الوجه أو ثلاثي الأوجه. ويمثل مغير القدرة في هذه الحالة شكل ١ -٢.



شكل ١ -٢ الموحد غير المحكوم

١ -١ -٢ الموحد (المقوم) المحكوم (Controlled rectifier)

يوضح شكل ١ -٣ موحد محكوم، حيث يتم الحصول على جهد مستمر متغير القيمة من جهد متردد ثابت القيمة، ويمكن أن يكون الجهد المتردد أحادي الوجه أو ثلاثي الأوجه، ويعتبر الثيرستور العنصر الرئيسي في هذه الدوائر. وتستخدم هذه الدوائر بكثرة في التحكم في محركات التيار المستمر، ومصادر القدرة للتيار المستمر. أيضا تستخدم في شحن البطاريات.



شكل ١ -٣ موحد محكوم

١ -١ -٣ حاكم الجهد المتردد (ac voltage controller)

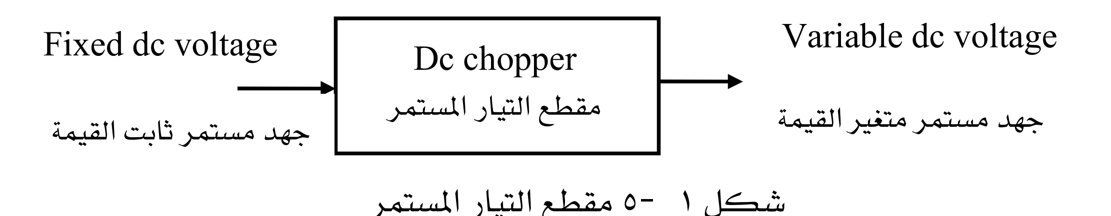
يستخدم حاكم الجهد المتردد للحصول على جهد متردد متغير القيمة من جهد متردد ثابت القيمة، أو بمعنى آخر لتغيير منبع الجهد الثابت والحصول على منبع جهد متغير، كما هو واضح في شكل ١ -٤، ويمثل الثيرستور العنصر الرئيسي في هذه الدوائر للقدرات العالية، أما في حالة القدرات المنخفضة فيستخدم الترياك بكثرة لرخص ثمنه وسهولة تصميم دوائر التحكم الخاصة. ومن أهم التطبيقات لهذه الدوائر، التحكم في الإضاءة والتحكم في سرعة المحركات التأثيرية وكذلك التحكم في درجات الحرارة.



شكل ١ -٤ حاكم الجهد المتردد

١ -١ -٤ مقطع التيار المستمر (dc chopper)

يعرف مغير القدرة من جهد مستمر ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة باسم مقطع التيار المستمر حيث يمكن تحويل جهد مستمر ثابت القيمة إلى جهد مستمر متغير القيمة عن طريق تقطيع الجهد، في الماضي كان الثيرستور هو العنصر الرئيسي في دوائر تقطيع التيار المستمر ولكن الآن يستخدم الترانزستور بكثرة في هذه الدوائر، ويوضح شكل ١ -٥ مغير القدرة من نوع مقطع التيار المستمر . ويستخدم بكثرة في التحكم في محركات التيار المستمر والتي تغذى من بطاريات أو منبع جهد مستمر ثابت القيمة.

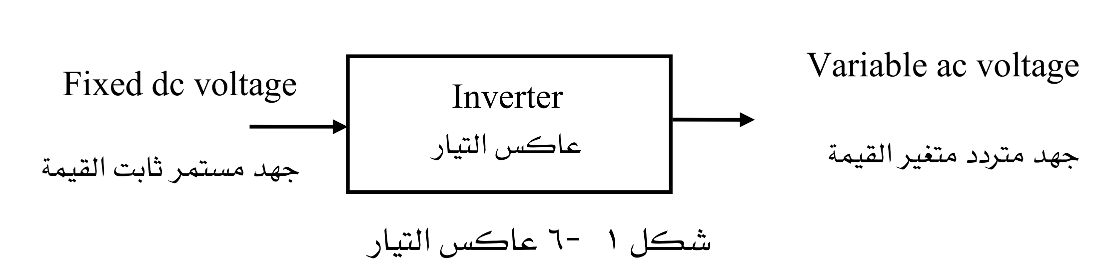


شكل ١ -٥ مقطع التيار المستمر

١ -١ -٥ عاكس التيار (Inverter)

يسمى مغير القدرة من تيار مستمر ثابت القيمة إلى تيار متردد متغير القيمة والتردد بعاكس التيار ووظيفته الرئيسية هي تحويل التيار المستمر إلى تيار متردد كما في شكل ١ -٦. ويمكن الحصول على جهد متردد أحادي الوجه ويسمى العاكس في هذه الحالة عاكس أحادى الوجه، كما يمكن الحصول على جهد متردد ثلاثي الأوجه من جهد مستمر ويسمى العاكس في هذه الحالة عاكس ثلاثي الأوجه. ويمكن استخدام الثيرستور أو الترانزستور في دوائر عاكس التيار ولكن يفضل الآن استخدام الترانزستور نظرا لسهولة تصميم دوائر التحكم وبساطة دائرة القدرة. ويستخدم العاكس على نطاق واسع في التحكم في محركات التيار المتردد والتسيير الكهربي، كما يستخدم أيضا في دوائر منبع القدرة ضد انقطاع التيار والتي تعرف باسم أجهزة UPS.





شكل ١ -٦ عاكس التيار

تحتوي دوائر مغيرات القدرة المشار إليها على عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة موصلة معا بطريقة خاصة لكي تعطي الوظيفة المطلوبة منها. ويحتاج تصميم دوائر مغيرات القدرة إلى خبرة عالية ومهارة علمية. وينقسم تصميم هذه الدوائر إلى أربع أقسام :

- تصميم دائرة القدرة وتحديد مقننات العناصر المستخدمة
- تصميم دوائر الحماية الخاصة بعناصر أشباه الموصلات
- حساب طريقة أو استراتيجية التحكم اللازمة
- تصميم دوائر المنطق أو دوائر الإشعال الخاصة بالعناصر المستخدمة في دائرة القدرة.

وسوف يتناول المنهج بالتفصيل دوائر مغيرات القدرة كل على حده من حيث التركيب والتشغيل ونظرية العمل وكذلك كيفية التصميم وذلك من خلال الوحدات المختلفة.

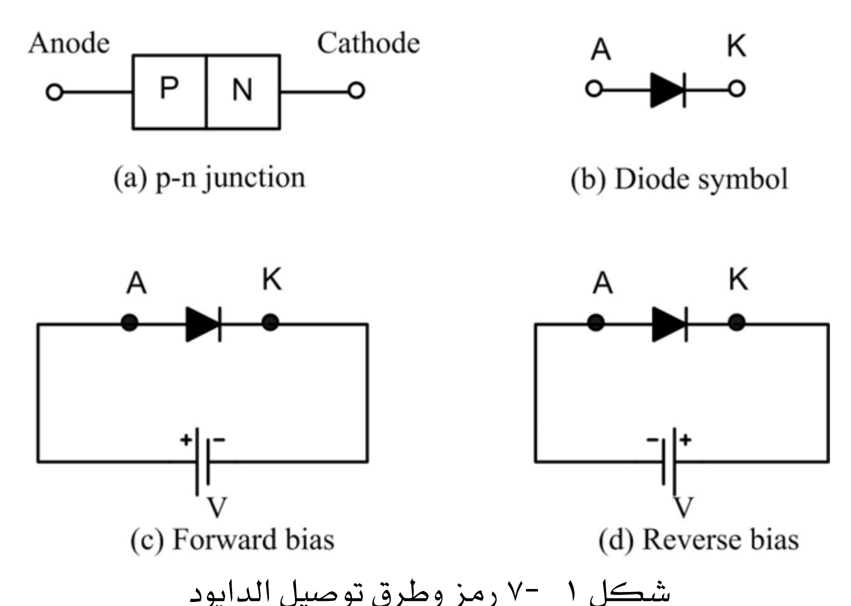
١ -٢ عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة Power Semiconductor Devices

تستخدم عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة في دوائر إلكترونيات القدرة، ونتيجة للتطور الهائل في صناعة أشباه الموصلات تم استحداث عناصر جديدة ذات قدرات عالية وسرعات قفل وفتح فائقة تعد بالميكروثانية مما أدى إلى تصميم دوائر إلكترونية ذات مقدرة على تهيئة المنبع الكهربي والتحكم فيه حسب المطلوب منه. ولكل عنصر من عناصر أشباه الموصلات خصائصه التي يتميز بها والتي بناء عليه يتحدد مدى ملاءمة كل منها لمختلف التطبيقات العملية. أيضا تتميز عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة بوسعها على تبديل كميات كبيرة من القدرة بالإضافة إلى قدرتها على تحمل جهود عالية قد تصل إلى ٥ كيلوفولت. وسنكتفي هنا بالتعرف على العناصر شائعة الاستخدام.

١ - ٣ دايود القدرة Power diode

يعتبر دايود القدرة حجر الأساس في معظم دوائر إلكترونيات القدرة، وهو يعمل كمفتاح إلكتروني لأداء وظائف مختلفة، فمثلا يستخدم كموحد للتيار المتردد، كما يستخدم في بعض الأحيان كدايود للمسار الحر (Freewheeling). تتألف البنية الداخلية النموذجية للدايود من وصلة ثنائية P-N ،كما هو مبين في شكل ١ -٧أ، وللدايود طرفان، الأنود والكاثود، وعندما يكون جهد الأنود موجب بالنسبة (أعلى من) لجهد الكاثود (شكل ١ -٧ج)، يقال في هذه الحالة أن الدايود في حالة انحياز أمامي

(Forward bias) ويوصل تيار. وتكون المقاومة ما بين الأنود والكاثود (المقاومة الأمامية) صغيرة ويفقد جهد على أطراف الدايود تعتمد قيمته على طرق التصنيع ودرجه حرارة الوصلة الثنائية وعادة لا يتعدى هذا الجهد ١,٢ فولت. أما إذا كان جهد الأنود سالب بالنسبة(أقل من) لجهد الكاثود، فيقال في هذه الحالة أن الدايود في حالة انحياز عكسي(Reverse bias). ويمر تيار عكسي يعرف بتيار التسرب(leakage current) ، وعادة قيمة هذا التيار صغيرة جدا وتقدر بالميكرو أو بالملي أمبير. وتزداد قيمة التيار العكسي بزيادة الجهد العكسي حتى يصل الجهد العكسي إلى جهد الانهيار(V_{BR}) المحدد للدايود فيمر تيار عكسي قيمتة عالية جدا ويفقد الدايود خصائصه، ويوضح شكل ١ -٧د التوصيل العكسي للدايود.



شكل ١ -٧ رمز وطرق توصيل الدايود

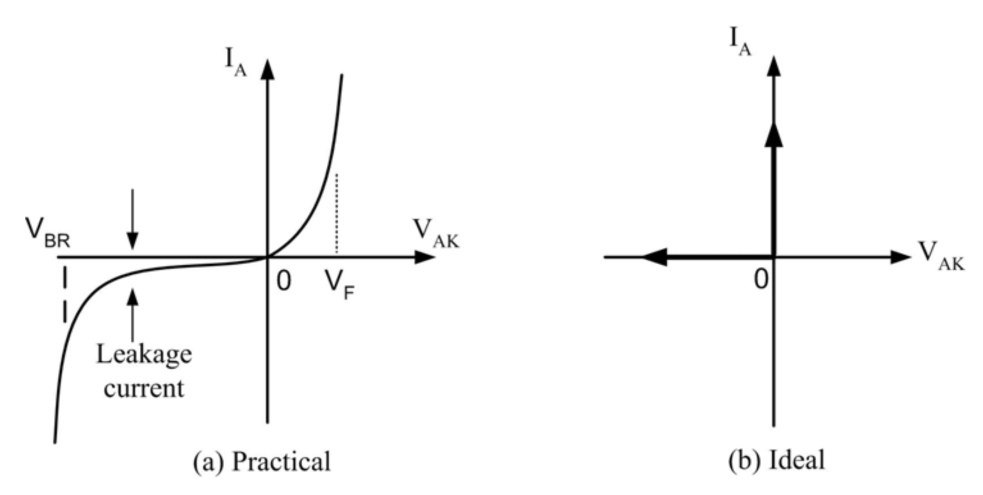
يوضح شكل ١ -٨أ منحنى الخواص الإستاتيكية للدايود، وفي معظم التطبيقات يمكن اعتبار الدايود مثالي –حيث لا يوجد فقد في الجهد أثناء التوصيل الأمامي ويكون تيار التسرب مساويا الصفر -كما هو موضح في منحنى الخواص ١ -٨ب. ويمثل منحنى الخواص العلاقة بين تيار الأنود (I_A) والجهد الموجود بين الأنود والكاثود(V_{AK}).

يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من دايود القدرة، تتحدد الخصائص وحدود كل نوع حسب التطبيق. وهذه الأنواع هي :

١ - دايود الأغراض العامة General purpose diode

٢ - دايود سريع الاستعادة Fast recovery diode

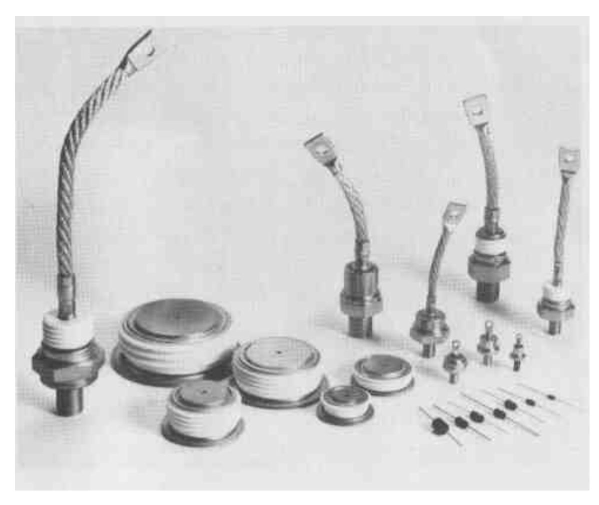
٣ - دايود شوتكي Schottky diode



شكل ١ -٨ منحنى الخواص الإستاتيكية لدايود القدرة

١ -٣ -١ دايود الأغراض العامة General purpose diode

يعرف بالدايود السليكوني ويستخدم في الأغراض العامة ذات الترددات المنخفضة(أقل من ١كيلو هيرتز) والتي لا يمثل فيها زمن الاستعادة تأثير حرج على سرعة الفتح والقفل حيث زمن الاستعادة عادة في حدود ٢٥ ميكروثانية، ويستخدم عادة في دوائر تقويم التيار المتردد ومغيرات القدرة التي تعمل عند تردد منخفض، وهو رخيص الثمن ومتوافر بمقننات عالية من الجهد والتيار تصل إلى خمسة آلاف فولت وعدة آلاف من الأمبير قد تصل إلى أكثر من ثلاثة آلاف. ويمكن أن يدمج عدة دايودات معا لتكون قنطرة توحيد وفي هذه الحالة تكون مقننات الجهد والتيار في حدود ١٠٠٠ فولت و٣٠٠ أمبير. ويوضح شكل ١ -٩ عدة أشكال للدايود ذو الأغراض العامة والذي يستخدم في كثير من التطبيقات بقدرات ومقننات مختلفة.



شكل ١ -٩ دايود الأغراض العامة(من شركة بوركس Powerex)

١ -٣ -٢ الدايود سريع الاستجابة Fast recovery diode

تتألف البنية الداخلية لهذا النوع من وصلة P-N ومن أجل زيادة سرعة الإسترداد، يتم إحداث مراكز لإعادة الاتحاد (recombination) –أي اتحاد الإلكترون مع ثقب وبالتالي اختفاء أي شكل من أشكال الشحنة - ضمن المادتين P,N . غير أن هذه المراكز تسبب زيادة في هبوط الجهد الأمامي.

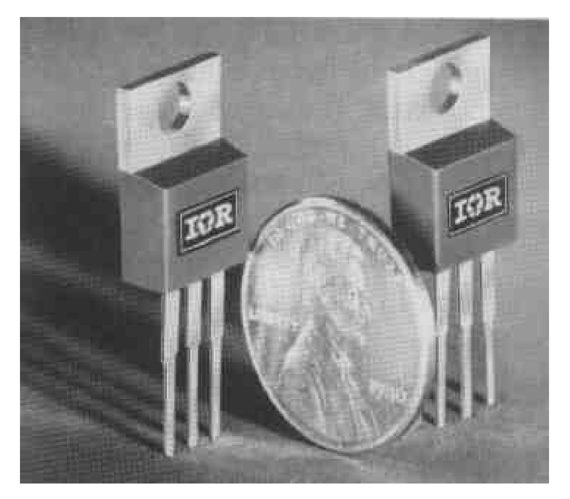
يعتبر هذا النوع غالى الثمن جدا بالمقارنة بدايود الأغراض العامة ويستخدم في الدوائر ذات الترددات العالية للفتح والقفل إذ يمكنه أن يستعيد حالته في زمن أقل من ٥ ميكروثانية. وهذا النوع متوافر بمقننات تصل إلى ثلاثة آلاف فولت وعدة مئات من الأمبير(قد تصل إلى ألف أمبير). ويوضح شكل ١ - ١٠ عدة أشكال من هذا النوع بمقننات مختلفة.



شكل ١ -١٠ أشكال مختلفة لدايودات سريعة الاستجابة(من شركة بوركس Powerex)

١ -٣ -٣ دايود شوتكي Schottky diode

يحقق دايود شوتكي تبديلا سريعا وفقا لبنيتها. حيث يتم استبدال الوصلة P-N بمقوم شوتكي الذي يتميز بوجود منطقة مجردة صغيرة جدا، وبما أن الشحنة المخزونة فيه قليلة جدا، فإن هذا سيجعل مقوم شوتكي عنصرا سريعا جدا بالمقارنة مع الوصلة P-N، إلا أن سعة وصلة شوتكي أكبر من سعة الوصلة P-N ويمكن أن تحد من سرعة تبديله. كما يتميز مقوم شوتكي بتيار تسرب عالي مما يحد من القيمة الاسمية لجهد الحجز (voltage blocking) ولذلك تستخدم مقومات شوتكي للعمل عند جهود أقل من ٢٠٠ فولت، وتيار قد يصل إلى٣٠٠أمبير، لذلك فهي ملائمة للتطبيقات ذات التيار العالي والجهد المنخفض. ويوضح شكل ١ -١١ دايود شوتكي بمقنن تيار ٣٠ أمبير.



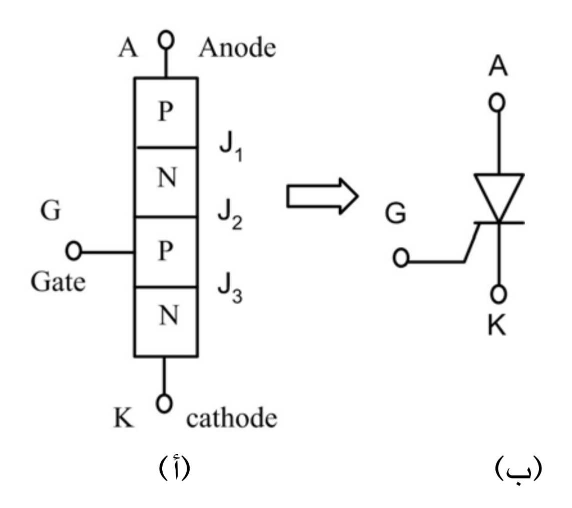
شكل ١ -١١ دايود شوتكي ثنائي بمقنن تيار ٣٠ أمبير(من شركة إنترناشيونال ريكتفير) .

١ -٤ الثيرستور وأنواعه المختلفة Thyristor and its types

يعتبر الثيرستور أحد أهم عناصر إلكترونيات القدرة، إذ يستخدم بكثرة في العديد من دوائر إلكترونيات القدرة. ويمثل في الدوائر بمفتاح إما أن يوصل تيار أو يكون في حالة عدم توصيل. ويمكن اعتباره في هذه الحالة مفتاحا مثاليا. ولكن في الواقع هناك بعض القيود والخصائص التي يجب أن تراعى عند التشغيل الفعلي في الدائرة.

١ -٤ -١ تركيب الثيرستور وتشغيله Thyristor construction and operation

يتكون الثيرستور من أربع طبقات من نبائط أشباه الموصلات مرتبة على هيئة pnpn ومكونة ثلاث وصلات(Junctions) هي J_1, J_2, J_3 ، كما هو مبين في شكل ١ -١٢أ. وللثيرستور ثلاثة أطراف هي الأنود والكاثود والبوابة . ويوضح شكل ١ -١٢ب الرمز الإلكتروني للثيرستور والمستخدم في الدوائر.

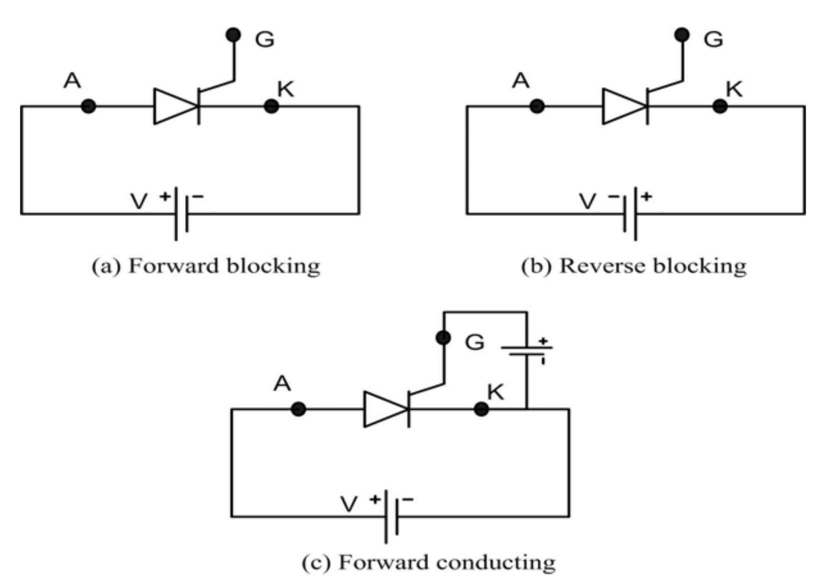


شكل ١ -١٢ تركيب الثيرستور ورمزه الإلكتروني

عندما يكون جهد الأنود موجبا بالنسبة لجهد الكاثود، تصبح الوصلتان J_1,J_3 في حالة انحياز أمامي (Forward bias) ، أما الوصلة J_2 فتكون في حالة انحياز عكسي (Reverse bias) وبذلك لايمر تيار في الثيرستور باستثناء تيار ذو قيمة صغيرة جدا يسمى تيار التسرب (Leakage current). وفي هذه الحالة يقال أن الثيرستور معاق أماميا (Forward blocking)، شكل ١ -١٣أ.

عندما يكون جهد الأنود سالبا بالنسبة لجهد الكاثود، تكون الوصلة J_2 في حالة انحياز أمامي ولكن الوصلتين J_1,J_3 تكونان في حالة انحياز عكسي. وبذلك يصبح الثيرستور في حالة إعاقة عكسية (Reverse blocking) ولا يمر تيار، سوى تيار صغير جدا يسمى تيار التسرب العكسي. ويوضح شكل ١ -١٣ب طريقة التوصيل هذه.

يمكن أن يوصل الثيرستور تيار أمامي إذا كان الجهد الأمامي V_{AK} أكبر من الصفر وتم تطبيق جهد موجب بين البوابة والكاثود ويقال أن الثيرستور في هذه الحالة قد انتقل من حالة الإعاقة الأمامية إلى التوصيل الأمامي. وتسمى هذه الحالة بحالة التوصيل الأمامي (Forward conducting).كما يبينها شكل ١ -١٣ج.



شكل ١ -١٣ حالات التشغيل للثيرستور

١ -٤ -٢ خواص الثيرستور **Thyristor characteristics**

تتحدد خصائص الثيرستور الرئيسية بالعلاقة بين الجهد المسلط (V_{AK}) عليه والتيار المار فيه (I_A) في حالتي الانحياز الأمامي والنحياز العكسي. ويوضح شكل ١ -١٤أ خصائص الثيرستور عندما يكون تيار البوابة صفرا. فعندما يكون الجهد السلط موجب (الأنود موجب بالنسبة للكاثود) يمر تيار صغير

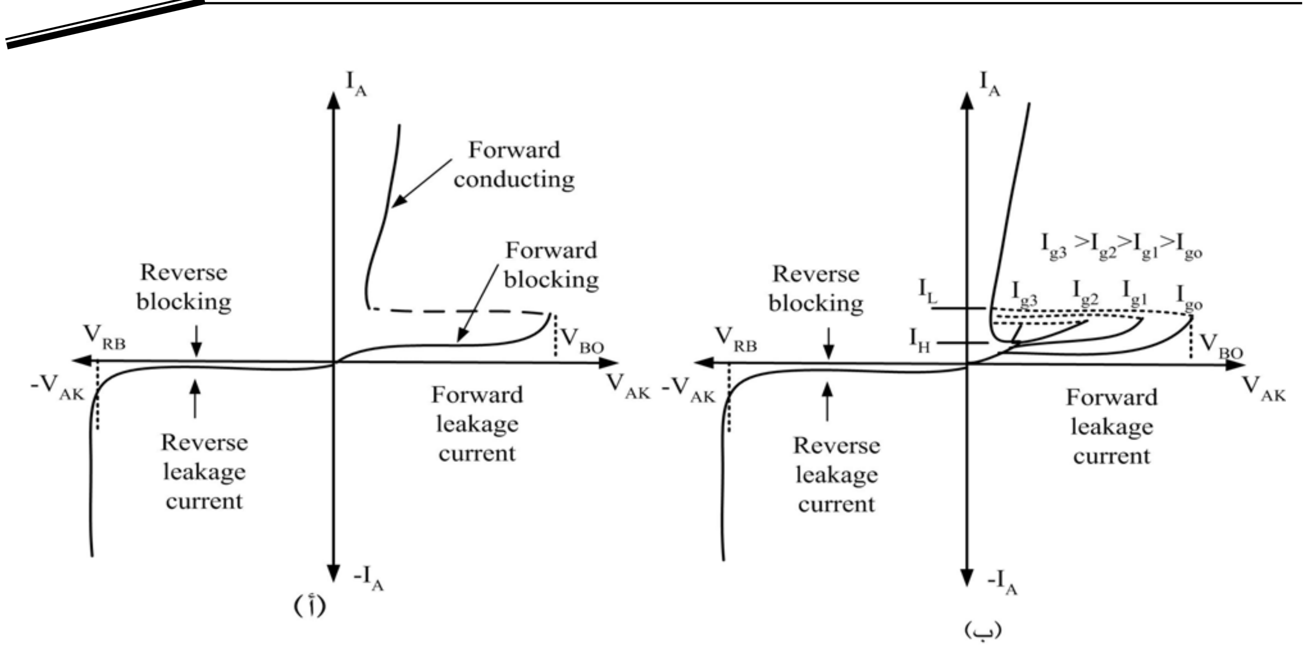
جدا يسمى تيار التسرب. وعند زيادة الجهد تدريجيا فإن التيار لا يظهر زيادة ملحوظة إلى أن يصل الجهد إلى الحد الذي تبدأ فيه انهيارات داخلية، يزداد التيار بعد ذلك بسرعة، ويسمى جهد الانهيار الامامي V_{Bo} والتيار I_{Bo} . وعندما يتم الإشعال(أي توصيل جهد موجب للبوابة) يصبح الثيرستور في حالة توصيل وتصبح الخواص مشابة لخواص الدايود المنحاز أماميا مع هبوط الجهد في حدود ١ فولت. أن الحالة التي بضمنها يستطيع الثيرستور تحمل الجهد الأمامي دون أن يتحول إلى حالة توصيل تسمى بمنطقة الإعاقة الأمامية.

عندما يصبح الثيرستور موصلا فإن التيار المار يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصلة بالدائرة. إذ بزيادة هذه المقاومة يقل التيار إلى أن يصل إلى حد أدنى يصبح الثيرستور بعده في منطقة الإعاقة الأمامية ويسمى التيار عند هذا الحد التيار الماسك (holding current) I_H.

وعند عكس الجهد المسلط على الثيرستور تصبح الخواص مشابهة للدايود المنحاز عكسيا. وبزيادة الجهد العكسي يبقى التيار قليلا حتى جهد الانهيار حيث يزداد التيار بسرعة كبيرة وبشكل حاد مع الجهد. وتسمى المنطقة التي بضمنها يستطيع الثيرستور تحمل الجهد العكسي دون حدوث انهيار بمنطقة الإعاقة العكسية.

بتوصيل جهد موجب بين البوابة والكاثود يمر تيار موجب في البوابة وتصبح خصائص الثيرستور كالموضحة في شكل ١ -١٤ب، فلقيم مختلفة لتيار البوابة يمكن ملاحظة أن الزيادة في تيار البوابة تزيد من تيار الإعاقة وتقلل جهد التوصيل الأمامي. ولو زيد تيار البوابة بدرجة كافية لأصبحت الخصائص الأمامية مشابهة لخصائص الدايود إذ تختفي في هذه الحالة منطقة الإعاقة الأمامية.

من خصائص البوابة كذلك إمكانية إشعال الثيرستور وجعله في حالة توصيل حتى ولو كان الجهد الأمامي أقل من جهد الانهيار ولكن بشرط أن يكون مصدر البوابة كافيا. وهذه هي الطريقة المعتادة لإشعال الثيرستور. ويلاحظ كذلك أن التغيير في تيار البوابة ليس له أي تأثير طالما كان الثيرستور في حالة توصيل. لذا يكفي أن يمر تيار البوابة فقط في المدة التي يتحول الثيرستور فيها إلى حالة التوصيل ويمكن إزالته بعدها. وتستعمل بصورة عامة تيارات نبضية لإشعال الثيرستور. وكما ذكر سابقا من أن تيار الأنود للثيرستور يتحدد بالمقاومة الخارجية الموصلة في الدائرة فإن كانت هذه المقاومة كبيرة فقد لا يكفى تيار الأنود الابتدائي لإبقاء الثيرستور في حالة التشغيل ويسمى هذا التيار بتيار التعشيق I_L (Latching current) . ويعرف بأنه أقل قيمة لتيار الأنود اللازمة لإبقاء الثيرستور في حالة توصيل بعد الإشعال وإزالة تيار البوابة. ويعد تيار التعشيق هذا أكبر من التيار الماسك.



شكل ١ -١٤ خواص الثيرستور

١ -٤ -٣ طرق إشعال الثيرستور Thyristor firing

كما عرفنا فإن الثيرستور يصبح موصل إذا زاد تيار الأنود عن تيار التعشيق I_L، ويمكن أن يتم ذلك عن طريق عدة طرق. وتشمل هذه: الطرق العملية المستخدمة وكذلك الطرق غير المعتادة وغير المرغوبة التي يجب تجنبها والتخلص منها. أن دراسة طرق الإشعال مفيد عند تصميم دوائر الثيرستور في اتخاذ التحفظات اللازمة لمنع حدوث الإشعال في غير توقيته.

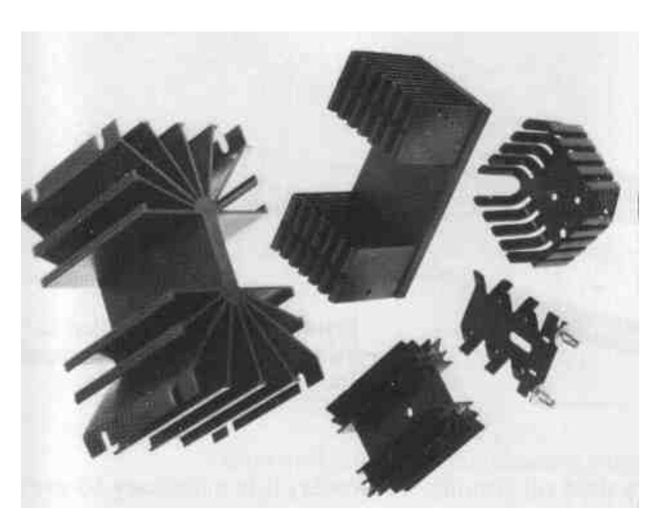
- **الإشعال بالحرارة:** إن الزيادة في درجة حرارة رقيقة القرص السيليكوني تؤدي إلى زيادة في معدل تولد حاملات الشحنات، فإذا كانت هذه الزيادة عالية عن حد معين فإنها يمكن أن تؤدي إلى تشغيل الثيرستور. وعادة هذا التشغيل غير مرغوب فيه لذلك يجب تجنبه وذلك باستخدام وسيلة لإزالة الحرارة الزائدة المتولدة ، حيث يمكن أن تتولد هذه الحرارة نتيجة لزيادة التيار. ويمكن استخدام وسيلة لتبديد الحرارة مثل تثبيت الثيرستور على قطعة من المعدن تسمى Heat sink، كما في شكل ١ -١٥.

-**الإشعال بالضوء:** لو سلطت حزمة ضوئية على الوصلة $J_٢$ لتولدت الكترونيات وفجوات في رقيقة القرص السيليكوني، وتتولد حاملات الشحنات ويتم إشعال الثيرستور بنفس الأسلوب الحراري. وبناء على تلك الفكرة تم تصنيع ثيرستور يعتمد إشعاله وتشغيله على الضوء ويسمى بالمقوم المتحكم السيليكوني المثار بالضوء. (Light activated silicon controlled rectifier LASCR).

-**الإشعال بالجهد الزائد:** عرفنا أنه إذا زاد الجهد الأمامي عن جهد الانهيار فإن تيار التسرب للثيرستور (Leakage current) يكون كافيا لتحويل الثيرستور إلى حالة التوصيل الأمامي. وهذه الطريقة للإشعال تدمر الثيرستور، لذلك يجب تجنبها.

-**الإشعال بمعدل الجهد المسلط (dv/dt):** من المفترض أن الجهد الأمامي المسلط يزداد بالتدريج. ولو سمح لهذا الجهد بالزيادة المفاجئة فقد تؤدي إلى إشعال الثيرستور من دون تسليط إشارة إلى البوابة أو زيادة الجهد الأمامي أكثر من مستوى الانهيار. أن هذا النوع غير المرغوب من الإشعال يمكن تجنبه بتحديد معدل تغير الجهد الأمامي (dv/dt). وتتراوح قيم التحديد هذه في الثيرستور التقليدي بين ٢٠ إلى ٢٠٠ فولت لكل مايكروثانية.

-**الإشعال بتيار البوابة:** إذا سلطت إشارة موجبة على البوابة بتوصيل مصدر بين البوابة والكاثود فإن التيار المار بدائرة البوابة يؤدي إلى مرور فجوات من البوابة إلى الطبقة P_2 فتزيد حاملات الشحنة الموجودة مما يساعد في إشعال الثيرستور. وإن طريقة التشغيل بالبوابة هذه هي الطريقة الاعتيادية والشائعة في تشغيل الثيرستور، وعادة تكون الإشارة المسلطة في شكل نبضة تستغرق زمنا معينا كافيا لتشغيل الثيرستور. وإذا وصل الثيرستور يستمر كذلك ولا داعي لإبقاء تيار البوابة.



شكل ١ -١٥ وسائل تبريد للثيرستور Heat sink

١ -٤ -٤ طرق إيقاف الثيرستور (الإخماد) Thyristor turn-off

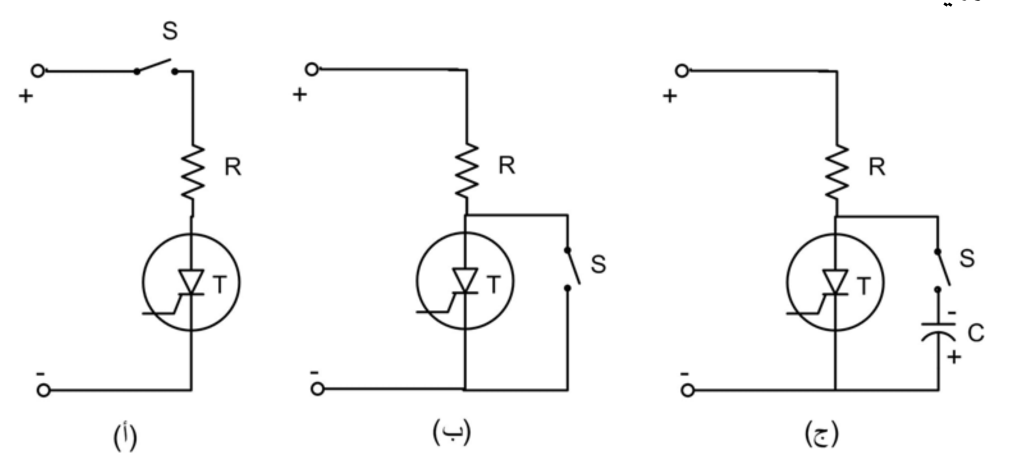
عندما يكون الثيرستور في حالة توصيل فإنه يحتوي على عدد كبير من حاملات الشحنة في طبقاته الأربع، وليس للبوابة أي سيطرة على الثيرستور وهو في هذه الحالة. ولإطفاء الثيرستور يجب أن تقل حاملات الشحنة في الوصلات إلى مستوى يقلل من تيار التسرب. أو بتعبير آخر يجب أن يقل تيار الثيرستور

إلى قيمة أقل من تيار الإمساك I_H لمدة تكفي لتحويله إلى عدم التوصيل.إن جعل الثيرستور في حالة عدم توصيل ليست صعبة في دوائر التيار المتردد حيث ينعكس الجهد كل نصف دورة. أما في دوائر التيار المستمر حيث يمر التيار باتجاه واحد يتطلب الأمر استعمال دائرة إضافية لإخماد الثيرستور، كما يوجد نوع خاص من الثيرستور يتم إخماده عن طريق البوابة ذاتها.

-**الإخماد الطبيعي :** يمكن تقليل تيار الثيرستور إلى الصفر بفتح مفتاح موصل على التوالي مع الثيرستور (شكل ١ -١٦أ) أو بجعل مسار تحويلي للتيار عن طريق غلق مفتاح موصل على التوازي مع الثيرستور (شكل ١ -١٦ب)، ويجب إعادة المفتاح إلى حالته الأولى في كلتا الحالتين بعد إخماد الثيرستور إلا أنه تتولد dv/dt عالية عبر الثيرستور مما قد يتسبب معها إعادة تشغيل الثيرستور.

-**الإخماد الإجباري (القسري):** في هذه الطريقة يسلط جهد عكسي عبر الثيرستور فيجبر التيار على الهبوط إلى الصفر بل ويمر بالاتجاه العكسي لمدة قصيرة قبل أن يستعيد الثيرستور قابليته للتعويق الأمامي. ويوضح الشكل ١ -١٦جـ دائرة مبسطة لهذا النوع من الإخماد، فعند غلق المفتاح S يوصل المكثف المشحون مسبقا بالقطبية المبينة عبر الثيرستور، فيصبح منحازا عكسيا ويتحول إلى حالة عدم التوصيل. أن هذا النوع من الإخماد كثير الإستعمال في دوائر الثيرستور.

تتبع دوائر التيار المتردد التي ينعكس فيها جهد الخط ذي الإخماد القسري ويسمى في هذه الحالة بالإخماد الطوري (Line commutated).



شكل ١ -١٦ طرق الإخماد للثيرستور

١ -٤ -٥ حماية الثيرستور Thyristor protection

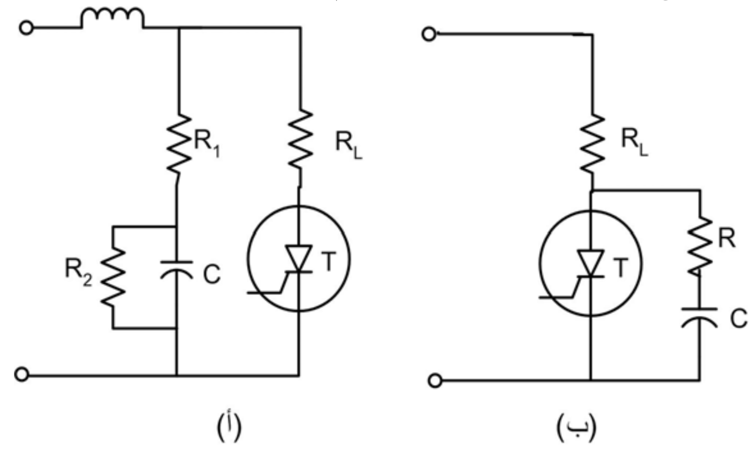
تميل درجة الحرارة المتولدة في وصلات الثيرستور إلى الارتفاع عند زيادة الجهد أو التيار وذلك بسبب صغر السعة الحرارية له. وإن استعمال طريقة للتخلص من درجة الحرارة الزائدة يحسن نوعا ما من سعته

الحرارية، ولكن ليس بالدرجة الكافية للتغلب على كل الاحتمالات. ومن أجل تشغيل جيد للثيرستور يجب عدم تعدى مقنناته. وهذا ما يمكن تحقيقه باختيار ثيرستور ذو مقننات أعلى من مقننات الدائرة وذلك لكي يتحمل التيارات الزائدة والجهود العابرة. أيضا يمكن استخدام طرق حماية إضافية لضمان الحفاظ على تيارات وجهود الثيرستور ضمن الحدود الآمنة.

-**الحماية ضد الجهد الزائد:** إن تسليط جهد زائد على الثيرستور في الاتجاه العكسي قد يسبب زيادة كبيرة في التيار العكسي الذي قد يتلف الثيرستور. وفي الاتجاه الأمامي يمكن أن يشعل الثيرستور إما بزيادة الجهد بأكثر من جهد الانهيار أو نتيجة لارتفاع dv/dt، وعموما فإن أي من الحالتين يسبب تشغيل غير مرغوب فيه للثيرستور مما يسبب خطرا له وللحمل المتصل معه على السواء.

قد يحدث الجهد الزائد ضمن الدائرة، وكذلك خارجها عن طريق الحالات العابرة التي تحدث في خط المصدر ويسببها الأعطاب والصواعق وعمليات الفتح والغلق. وتعد إمكانية التنبؤ بهذه الحالات صعبة ولكن يمكن الحيطة منها بأخذ عامل أمان عند التصميم.

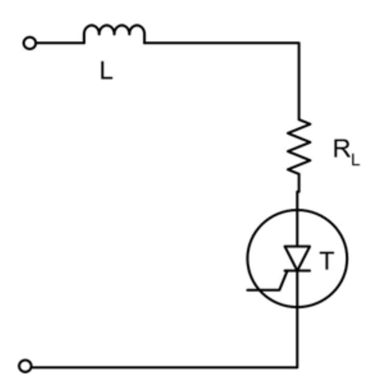
تصمم أنظمة الحماية لامتصاص الطاقة الناجمة عن الجهود الزائدة والتي تسبب تلف للثيرستور أو تربك عمله. وتبدد هذه الطاقة في مقاومات أو تستعمل لشحن مكثفات موضوعة بصورة مناسبة في الدائرة. ويوضح شكل ١ -١٧أ استعمال دائرة حماية من الجهود العابرة باستخدام دائرة RC ناحية الدخل. ويعتمد حجم المكثف على الطاقة المطلوب امتصاصها وعلى قيمة الجهد العابر المتوقع. وتستخدم المقاومة R_1 لإخماد التذبذبات الناتجة من دائرة الرنين المشكلة من المكثف وأي ملف موجود في الدائرة. أما المقاومة R_2 فتستخدم في تفريغ المكثف. والدائرة المستخدمة تقلل أيضا من معدل ارتفاع dv/dt المسلطة على الثيرستور. هذا ويجب حماية الثيرستور كلا على حدة ضد dv/dt العالية والجهود الزائدة وخصوصا تلك الناتجة عن فتح وغلق الثيرستور. ويستخدم لذلك الدائرة الموضحة في شكل ١ -١٧ب.



شكل ١ -١٧ طرق الحماية من الجهد الزائد ومن خطر dv/dt العالية

-**الحماية ضد التيار الزائد:** يسبب التيار الزائد إلى ارتفاع درجة حرارة الوصلات للثيرستور بشدة وقد يسبب الارتفاع الحاد في التيار تسخينا زائدا وتلفا لحظيا. في مثل هذه الحالة يجب فصل الدائرة مباشرة. وعند تعرض الثيرستور لأحمال زائدة أقل شدة ولكن بصورة متكررة فهناك زيادة مطردة في درجة الحرارة ويؤدي ذلك إلى تغير تدريجي لخصائص الثيرستور وفي النهاية تلفه. يمكن قطع النوع الأول من التيارات الزائدة باستخدام قواطع سريعة والتي يجب أن تنصهر قبل تلف الثيرستور. أما النوع الثاني فيمكن استعمال قواطع دورة أبطأ نسبيا.

أما حماية الثيرستور ضد المعدل العالي لارتفاع التيار di/dt فتتم عادة بتوصيل محاثة (ملف) على التوالي معه، كما في شكل ١ -١٨.



شكل ١ -١٨ حماية الثيرستور ضد di/dt

١ -٤ -٦ أنواع الثيرستور Thyristor types

يوجد عدة أنواع من الثيرستور تتفق في أن لكل منها ثلاثة أطراف وتختلف في كيفية تحويلها من حالة التوصيل إلى حالة عدم التوصيل. وكلها توصل التيار في اتجاه واحد فيما عدا الثيرستور المزدوج (الترياك) فإنه يوصل تيار في كلا الاتجاهين. وتسمى الثلاثة أطراف بالأنود والكاثود والبوابة فيما عدا الترياك فإن له أنودان وبوابة. وعادة يمكن تصنيف الأنواع الشائعة للثيرستور حسب التركيب وطريقة التشغيل إلى الأنواع التالية:

١- Phase controlled thyristor(SCR)

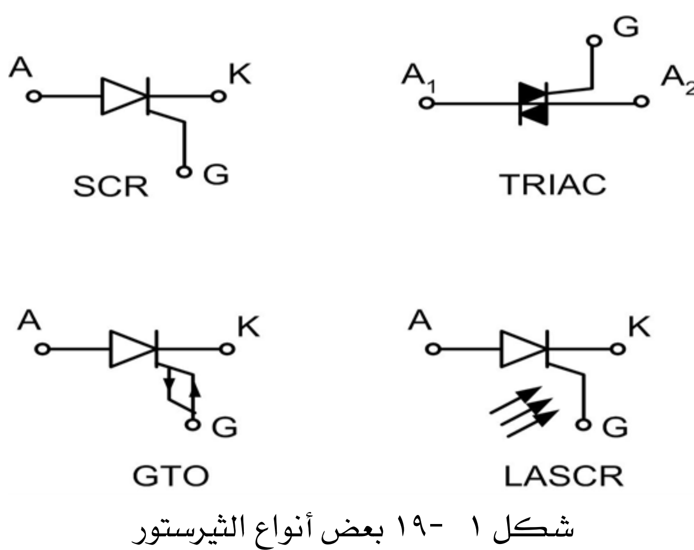
٢- Fast switching thyristor (SCR)

٣- Gate-turn-off thyristor (GTO)

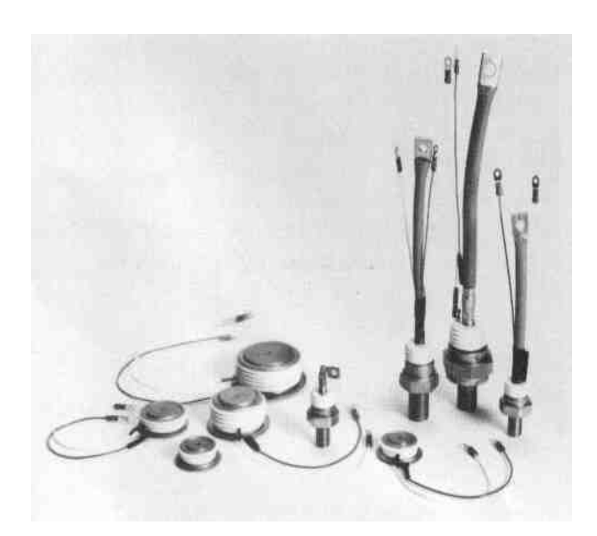
٤-Bidirectional triode thyristor (TRIAC)

٥-Light activated silicon-controlled rectifier (LASCR)

تتشابه الأنواع المختلفة للثيرستور في الخواص الإستاتيكية ولكنها تختلف في الرمز والمسمى، وأشهر الأنواع وأكثرها شيوعا هو الموحد السيليكوني المحكوم وهو الذي يحمل اسم ثيرستور، ويوضح شكل ١ -١٩ الرمز لكل نوع من الأنواع السابق ذكرها. كما يوضح شكل ١ -٢٠ أحجام وأشكال مختلفة للثيرستور.



شكل ١ -١٩ بعض أنواع الثيرستور



شكل ١ -٢٠ أشكال وأحجام مختلفة للثيرستور (من شركة بوركس Powerex)

تقوم الشركات المنتجة بإعداد نشرة بيانات لكل منتج يحدد فيها الشكل الخارجي والأطراف والأبعاد والمقننات وكذلك الخواص الحرارية والكهربية. ولكي يمكن استخدام أي نوع استخداما سليما يجب الحصول على نشرة البيانات الخاصة به. ويتوافر الثيرستور بمقننات تصل إلى خمسة آلاف

فولت وأربعة آلاف أمبير، وتقل هذه المقننات كلما زادت إمكانيات الثيرستور في التحكم. أما الترياك فيتوفر بمقننات أقل بكثير.

١ -٥ ترانزستور القدرة Power Transistor

يستخدم الترانزستور بكثرة الآن في كثير من تطبيقات إلكترونيات القدرة حيث يمكن أن يصبح بديلا للثيرستور لما يتميز به من مقدرته على الفصل والتوصيل من خلال تيار القاعدة وذلك على العكس مع الثيرستور الذي يحتاج إلى دائرة مساعدة لكي يفصل التيار. ومع التطور التكنولوجي في صناعة أشباه الموصلات، تم تصنيع الترانزستور بمقننات عالية للجهد والتيار وبذلك أصبح منافسا قويا للثيرستور الذي تميز بهذه الخاصية. وفي معظم تطبيقات الترانزستور في دوائر إلكترونيات القدرة فإنه يستخدم كمفتاح للتوصيل والفصل. ويوجد ثلاثة أنواع رئيسية للترانزستور في دوائر إلكترونيات القدرة وهي:

١ - الترانزستور ثنائي القطبية BJT (Bipolar Junction Transistor)

٢ - ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة
(Metal–oxide-semiconductor filed effect transistor) MOSFET

٣ - الترانزستور ثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة
(Insulated Gate Bipolar Junction Transistor) IGBT

١ -٥ -١ الترانزستور ثنائي القطبية BJT

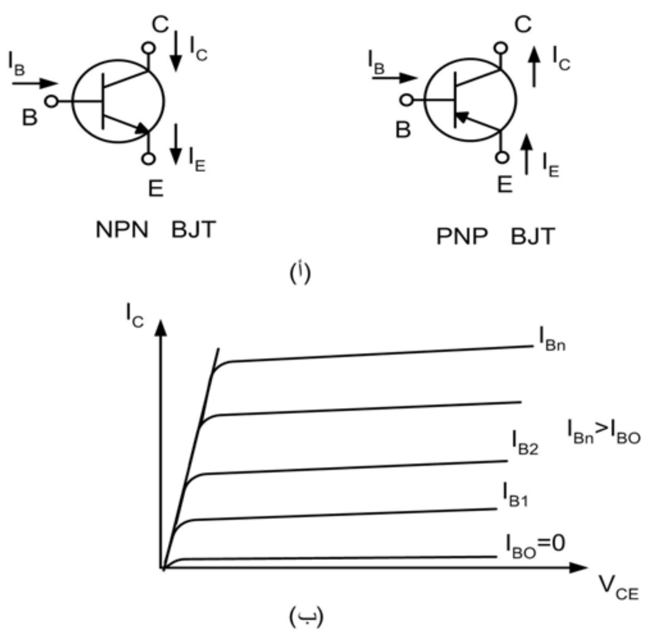
الترانزستور ثنائي القطبية له ثلاثة أطراف -القاعدة (base) والمجمع(collector) والمشع(emitter) وهو نوعان ، نوع ذو قاعدة موجبة(NPN) والآخر ذو قاعدة سالبة (PNP)(شكل١ -٢١أ)، ولكي يعمل كمفتاح يجب أن يكون تيار القاعدة كافيا لكي يضع الترانزستور في منطقة التشبع (saturation) ، مما يؤدي لتشكيل هبوط جهد أمامي منخفض يمكن العنصر من العمل كمفتاح، وعادة يكون هذا الجهد في حدود فولت واحد. وفي هذه الحالة فإن تيار المجمع لا يعتمد على تيار القاعدة بل يعتمد على مكونات الدائرة الخارجية. ونظرا لاحتياج الترانزستور إلى تيار قاعدة عالي ومستمر على مدى فترة التوصيل فإن القدرة المفقودة به كبيرة، هذا بالإضافة إلى مفقودات الفصل والتوصيل والتي قد تؤدي إلى احتراق الترانزستور إذا لم يتم بسرعة عالية.

يعتبر ترانزستور BJT الأقل كلفة من بين الترانزستورات الثلاثة ويتميز بتمرير تيارات ذات كثافة عالية تفوق كثافة التيارات التي تمررها MOSFET إلا أنها أقل من كثافة التيارات التي يمررها IGBT،

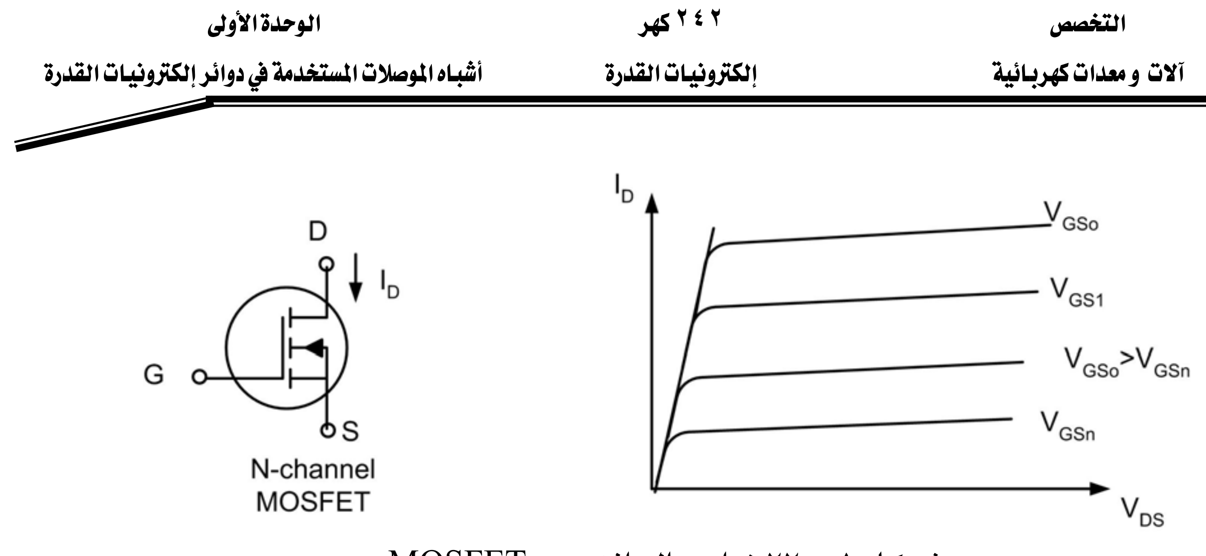
ويعيب هذا النوع أن سرعة التبديل (الانتقال من التوصيل إلى الفصل) بطيئة نسبيا، لذلك لا يستعمل بشكل واسع كعنصر تبديل، وخصوصا عند الترددات التي تتجاوز ١٠ كيلوهرتز. ويتوافر هذا النوع من الترانزستور بمقننات تصل إلى مئات الأمبير وتصل إلى ألف فولت، ويمكنه التعامل مع قدرات تقدر بعشرات الكيلووات. ويوضح شكل ١ -٢١ ب منحنى الخواص الاستاتيكية.

١ -٥ -٢ ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة MOSFET

يتميز ترانزستور القدرة MOSFET بأنه عنصر ذو ناقلية تحويلية (Transconductance) وذو حوامل أكثرية (majority carrier) وهذا ما يجعله يتميز بميزتين هامتين، إحداهما أنه يحتاج لتيار تشغيل منخفض، والأخرى سرعة التبديل العالية. ولذلك فهو يستخدم في الدوائر التي تحتاج إلى سرعات عالية للتوصيل والفصل والتي تصل إلى ١٠٠كيلوهرتز، وهو مرتفع الثمن ويتوافر ضمن مجال واسع من الجهود (٢٠حتى ١٠٠ فولت) والتيارات (١حتى ١٠٠أمبير). وله ثلاثة أطراف، منبع (source) ومصرف (drain) وبوابة (gate)، ونظرا لأنه يعمل بتأثير المجال الكهربي (وذلك بتسليط جهد ملائم من خلال البوابة) فإن القدرة المفقودة في دائرة البوابة ضئيلة جدا. ويوضح شكل ١ -٢٢ الرمز ومنحنى الخواص الإستاتيكية لترانزستور MOSFET.



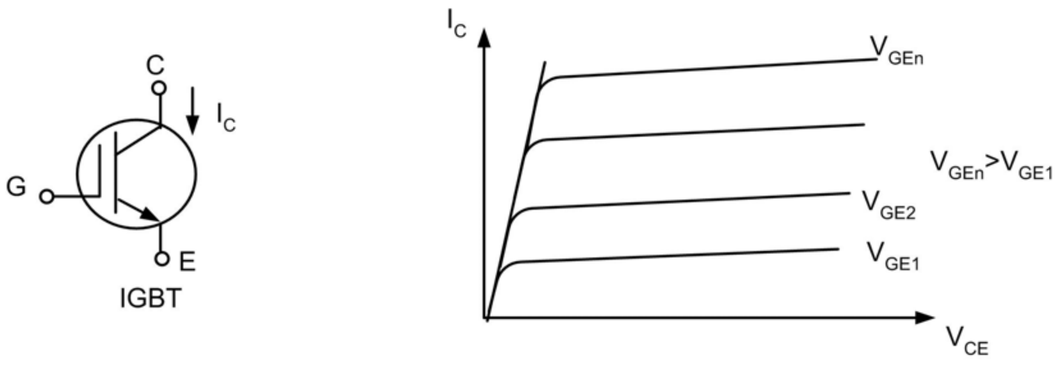
شكل ١ -٢١خواص الترانزستور ثنائي القطبية



شكل ١ -٢٢خواص الترانزستور MOSFET

١ -٥ -٣ الترانزستور ثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة IGBT

يقدم ترانزستور IGBT أداء مشابه لترانزستور BJT ويتم تشغيله بشكل مشابه لترانزستور MOSFET . ويمتاز بأنه يتم الحصول على زيادة في كثافة التيار والتي تفوق كثافة التيار في ترانزستور BJT. ويمتاز أيضا بأن سرعة تبديله أسرع من BJT ولكن مازالت أقل من MOSFET حيث تصل إلى ٤٠كيلوهرتز. ويتوافر هذا النوع بمقننات تصل إلى ١٦٠٠ فولت للجهد و١٠٠٠ أمبير للتيار. وله ثلاثة أطراف ،مجمع (collector) ومشع (emitter) وبوابة (gate). ويوضح شكل ١ -٢٣ الرمز ومنحنى الخواص الإستاتيكية لترانزستور IGBT . ويستخدم هذا النوع بكثرة في دوائر التحكم في المحركات الكهربية.



شكل ١ -٢٣خواص الترانزستور IGBT

أسئلة للمراجعة على الوحدة الأولى

١ - ماذا يقصد بإلكترونيات القدرة؟

٢ - اذكر أربع مجالات لاستخدامات إلكترونيات القدرة.

٣ - ما الأنواع المختلفة لدايود القدرة؟

٤ - ما الأنواع المختلفة للثيرستور؟

٥ - ارسم الخواص الإستاتيكية لكل من الدايود، الموحد السليكوني المحكوم، ترانزستور IGBT ، الترياك.

٦ - اذكر الطرق المختلفة لإشعال الثيرستور.

٧ - ما الشروط اللازم توافرها لكي يوصل الثيرستور تيار؟

٨ - كيف يتم إطفاء ثيرستور موصل تيار؟

٩ - ما الفرق بين ترانزستور القدرة والثيرستور من حيث الإشعال والإطفاء؟

١٠ - ماذا يقصد بمغير القدرة؟ اذكر مثالا لذلك.

١١ - ما الفروق بين الترانزستور ثنائي القطبية وترانزستور IGBT

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



إلكترونيات القدرة

دوائر الموحدات غير المحكومة

دوائر الموحدات غير المحكومة

٢

الجدارة: دراسة دوائر التوحيد أحادية الوجه وثلاثية الأوجه غير المحكومة وذلك مع حمل مادي. أيضا دراسة تأثير دوائر التنعيم والتنقية على الجهد الخارج من دوائر التوحيد. وكذلك أهم التطبيقات لتلك الدوائر في المجال الصناعي.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. التعرف على أنواع دوائر التوحيد غير المحكومة.
٢. دراسة أداء دوائر التوحيد.
٣. دراسة تأثير دوائر التنعيم والتنقية على الجهد الخارج.
٤. أهم التطبيقات لدوائر التوحيد.
٥. تشخيص الأعطال لدوائر الموحدات.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ساعات.

الوسائل المساعدة: لا توجد.

متطلبات الجدارة: تحتاج إلى مراجعة مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى من هذا المقرر.

دوائر الموحدات غير المحكومة Uncontrolled Rectifier Circuits

تسمى مغيرات القدرة التي تحول التيار المتردد إلى تيار مستمر بالموحدات (أو المقومات)، والموحدات التي تستخدم دايود القدرة يطلق عليها الموحدات غير المحكومة وذلك لأنها تعطي جهد خرج مستمر وثابت القيمة طالما كانت قيمة جهد الدخل (الجهد المتردد) ثابتة.

يعتبر الدايود عنصر ملائم لدوائر التوحيد غير المحكومة بسبب خواص التوصيل في اتجاه واحد، وتصنف الدوائر على أساس:

١ - عدد الأوجه، أي : وجه واحد أو ثلاثة أوجه.

٢ - الهيئة المستخدمة(شكل موجة الخرج)، أي: نصف موجة، أو موجة كاملة، أو قنطرة.

سنستعرض بعض دوائر الموحدات مع افتراض أن الدايود له خواص مثالية، ويعرف الدايود المثالي بأن مقاومته للتيار في الاتجاه الأمامي تساوي الصفر بينما مقاومته للتيار في الاتجاه العكسي لانهائية، كما أنه يوصل تيار إذا كان فرق الجهد بين الأنود والكاثود موجب (أي أن جهد الأنود أعلى من جهد الكاثود)، وفي حالة التوصيل يكون فرق الجهد على طرفيه مساويا للصفر. وهذا الافتراض مقبول في دوائر إلكترونيات القدرة حيث جهود وتيارات الدائرة كبيرة على عكس دوائر الإلكترونيات الدقيقة حيث جهود وتيارات الدائرة صغيرة. وبذلك يمكن إهمال الفقد في الجهد على الدايود، والذي عادة لا يتعدى ١فولت، مقارنة بجهد الدائرة والذي يقدر بعشرات الفولت.

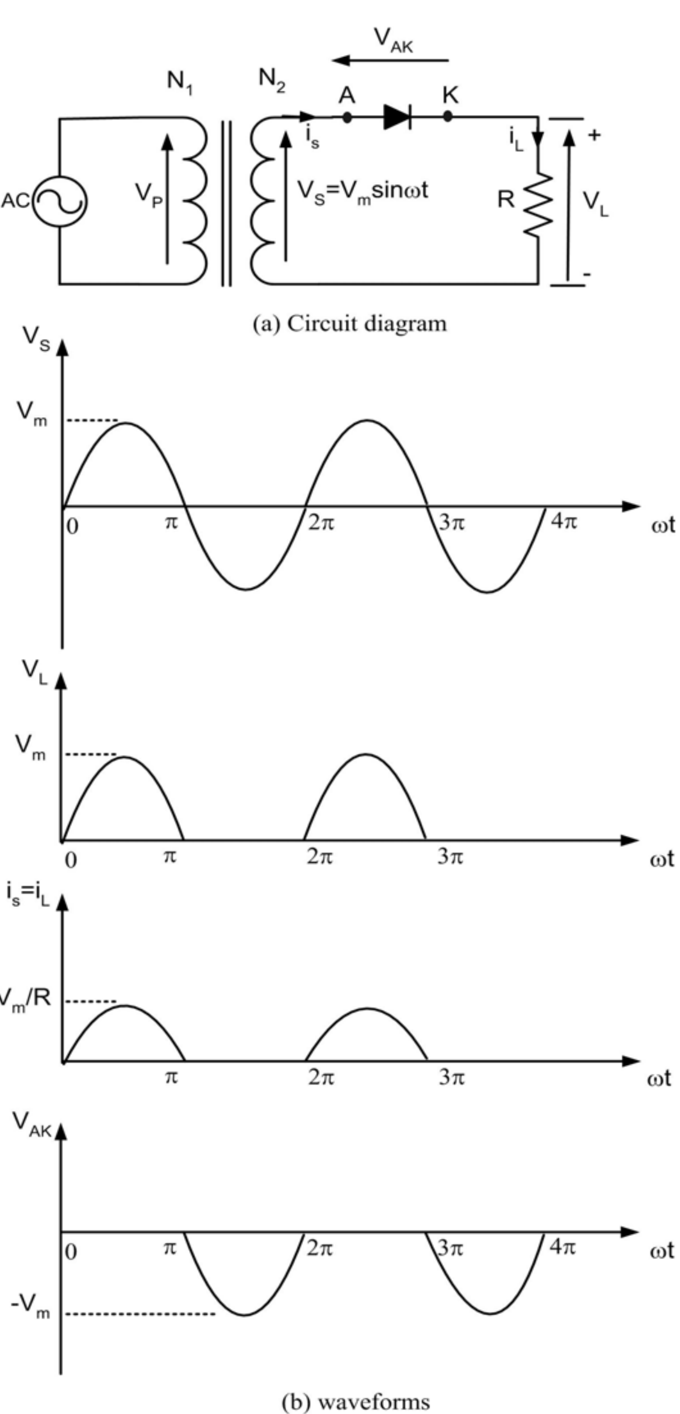
٢ -١ دوائر التوحيد أحادية الوجه Single-phase rectifier circuits

تصنف دوائر التوحيد أحادية الوجه من حيث شكل موجة الخرج إلى: دوائر توحيد نصف موجة، ودوائر توحيد موجة كاملة. ويوجد شكلان لدوائر توحيد الموجة الكاملة، وهما الموحد ذو نقطة المنتصف (Centre-tap rectifier) وموحد القنطرة (Bridge rectifier). وسوف نستعرض بالشرح والتحليل الدوائر المختلفة للتوحيد أحادية الوجه.

٢ -١ -١ موحد نصف الموجة الأحادي الوجه The single-phase half-wave rectifier

تعتبر هذه الدائرة من أبسط دوائر الموحدات ولكنها لا تستخدم في التطبيقات الصناعية، وذلك نظرا لأنها تسبب مركبة تيار مستمر (dc component) بالمصدر المتردد مما يحدث آثاراً ضارة جدا بالمحولات والمولدات الملحقة بالشبكة الكهربية. ولكن دراسة هذه الدوائر مفيدة في فهم عمل دوائر الموحدات بصفة عامه.

يوضح شكل ٢ -١ دائرة هذا النوع البسيط من الموحدات والتي ترتبط بمصدر التيار المتردد من خلال محول لخفض أو رفع الجهد حسب مقنن الحمل. حيث الحمل في هذه الحالة عبارة عن حمل مادي (مقاومة).



شكل ٢ -١ دائرة توحيد نصف موجة أحادية الوجه

نفرض أن جهد الملف الثانوي يعطى بالعلاقة:

$$v_s = V_m \sin \omega t \qquad (٢-١)$$

عندما يكون هذا الجهد موجب (في الفترة من ٠ إلى π، ومن ٢πإلى ٣π) يصبح الدايود في حالة انحياز أمامي ويوصل تيار إلى الحمل. وبإهمال الهبوط في الجهد عبر الدايود، ينتج أن تيار الحمل يساوي:

$$i_L = \frac{v_s}{R} = \frac{V_m \sin \omega t}{R} \qquad (٢-٢)$$

وفي حالة توصيل الدايود يظهر جهد الملف الثانوي v_s على الحمل كما هو مبين في شكل موجة الحمل (V_L) بالشكل ٢ -١.

عندما يكون جهد الملف الثانوي v_s سالب (في الفترة من π إلى ٢π ، ومن ٣πإلى ٤π) يصبح الدايود في حالة انحياز عكسي ولا يوصل تيار إلى الحمل، ويكون الجهد الخارج إلى الحمل في هذه الحالة مساويا للصفر. وبذلك يصبح الجهد الخارج على الحمل خلال دورة كاملة للتيار المتردد في اتجاه واحد كما هو مبين من خلال موجات الخرج والدخل للموحد (شكل ٢ -١). أيضا يوضح شكل ٢ -١ الجهد عبر الدايود (V_{AK}) ، وحيث أن الدايود موصل على التوالي مع الحمل ففي أي لحظة يعطى الجهد عبر الدايود من العلاقة:

$$v_{AK} = v_s - v_L \qquad (٢-٣)$$

خلال فترة توصيل الدايود يكون الجهد v_{AK} مساويا للصفر، أما في حالة عدل التوصيل يظهر الجهد السالب للمصدر على أطراف الدايود. ولذلك يراعى عند اختيار الدايود أن يتحمل أقصى جهد عكسي مسلط عليه وهو ما يعرف بـ PIV (Peak Inverse Voltage).

يلاحظ أن الجهد عبر الحمل مكون من مركبة dc بالإضافة إلى تموج ac. هذا ويمكن تحديد مركبة dc (القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_{dc})من معدل موجة كاملة وذلك حسب المعادلة التالية:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t \quad d(\omega t) \qquad (٢-٤)$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \qquad (٢-٥)$$

ويمكن أيضا حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل $I_{L\,dc}$ من العلاقة التالية:

$$I_{L\,dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{V_m}{\pi R} \qquad (٢-٦)$$

يمكن حساب القدرة المتوسطة (P_{dc}) المستهلكة في الحمل من العلاقة التالية:

$$P_{dc} = V_{dc} I_{dc}$$ ٢□٧

أيضا يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على الحمل على الوجه الآتي:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_m \sin\omega t)^2 \ d\omega t}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2} \ d\omega t}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} \left(\omega t - \frac{\sin 2\omega t}{2}\right)_0^{\pi}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2}$$ ٢□٨

أما القيمة الفعالة للتيار المار في الدايود(تيار الحمل) فيمكن حسابها بدلالة الجهد كالتالي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{2R}$$ ٢□٩

بإهمال القدرة المفقودة في الدايود، يمكن اعتبار أن القدرة الداخلة للدائرة هي القدرة الفعالة (P_{ac}) المفقودة في مقاومة الحمل ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$P_{ac} = V_{rms} I_{rms}$$ ٢□١٠

كما سبق يمكن اعتبار أن الجهد الموحد الاتجاه عبارة عن مركبة تيار مستمر V_{dc} بالإضافة إلى مركبة تيار متردد V_{ac} وهي ما تعرف بالتموج (ripple)، ويمكن حساب القيمة الفعالة لمركبة التيار المتردد من العلاقة التالية:

$$V_{ac} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}$$ ٢□١١

هذا ويمكن حساب معاملات الأداء لدائرة التوحيد كالتالي:

تعطي كفاءة دائرة التوحيد (η) من العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}}$$ ٢□١٢

معامل شكل الموجة FF ، وهو مقياس لشكل موجة الخرج(أي مدى قربها من الجهد المستمر أي الثابت) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \qquad (٢-١٣)$$

يكمن قياس فاعلية عملية التوحيد بإيجاد معامل التموج (RF) لموجة الخرج والذي يعرف بالعلاقة التالية:

$$RF = \frac{V_{ac}}{V_{dc}}$$

$$RF = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_{dc}^2}}{V_{dc}} = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1} = \sqrt{FF^2 - 1} \qquad (٢-١٤)$$

يعتبر معامل الاستخدام للمحول (Transformer utilization factor) من معاملات الأداء الهامة لدوائر التوحيد، حيث يحدد مقنن المحول المستخدم في دوائر التوحيد. ويمكن حساب هذا المعامل TUF من العلاقة التالية:

$$TUF = \frac{P_{dc}}{V_s I_s} \qquad (٢-١٥)$$

حيث تمثل V_s القيمة الفعالة لجهد الملف الثانوي للمحول، أما I_s فيمثل القيمة الفعالة لتيار الملف الثانوي.

مثال ٢ -١ للدائرة الموضحة في شكل ٢ -١، إذا كان جهد الملف الابتدائي للمحول ٢٢٠ فولت ونسبة التحويل للمحول ٥ وقيمة مقاومة الحمل ١٠ أوم احسب التالي: الكفاءة، معامل شكل الموجة، معامل التموج، أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود، معامل استخدام المحول.

الحل V_p=٢٢٠ N_1/N_2=٥ R=١٠Ω

$$\frac{V_p}{N_1} = \frac{V_s}{N_2}$$

$$V_s = \frac{V_p N_2}{N_1} = \frac{220*1}{5} = 44 \quad V$$

$$V_m = \sqrt{2} V_s = \sqrt{2} * 44 = 62.23 \quad V$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{62.23}{\pi} = 19.8 \quad V$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{19.8}{10} = 1.98 \quad A$$

$$V_{rms}=\frac{V_m}{2}=\frac{62.23}{2}=31.12 \quad V$$

$$I_{rms}=\frac{V_{rms}}{R}=\frac{31.12}{10}=3.112 \quad A$$

$$P_{dc}=V_{dc}I_{dc}=19.8*1.98=39.204 \quad W$$

$$P_{ac}=V_{rms}I_{rms}=31.12*3.112=96.845 \quad W$$

$$\eta=\frac{P_{dc}}{P_{ac}}=\frac{39.204}{96.845}=0.405=40.5\%$$

$$FF=\frac{V_{rms}}{V_{dc}}=\frac{31.12}{19.8}=1.57 \quad or \quad 157\%$$

$$RF=\sqrt{FF^2-1}=\sqrt{1.57^2-1}=1.21 \quad or \quad 121\%$$

PIV= V_m=٦٢٫٢٣ V

للدائرة الموضحة في شكل ٢ -١ فإن القيمة الفعالة لتيار الملف الثانوي I_s تساوي القيمة الفعالة لتيار الحمل I_{rms}.

$$TUF=\frac{P_{dc}}{V_sI_s}=\frac{39.204}{44*3.112}=0.286$$

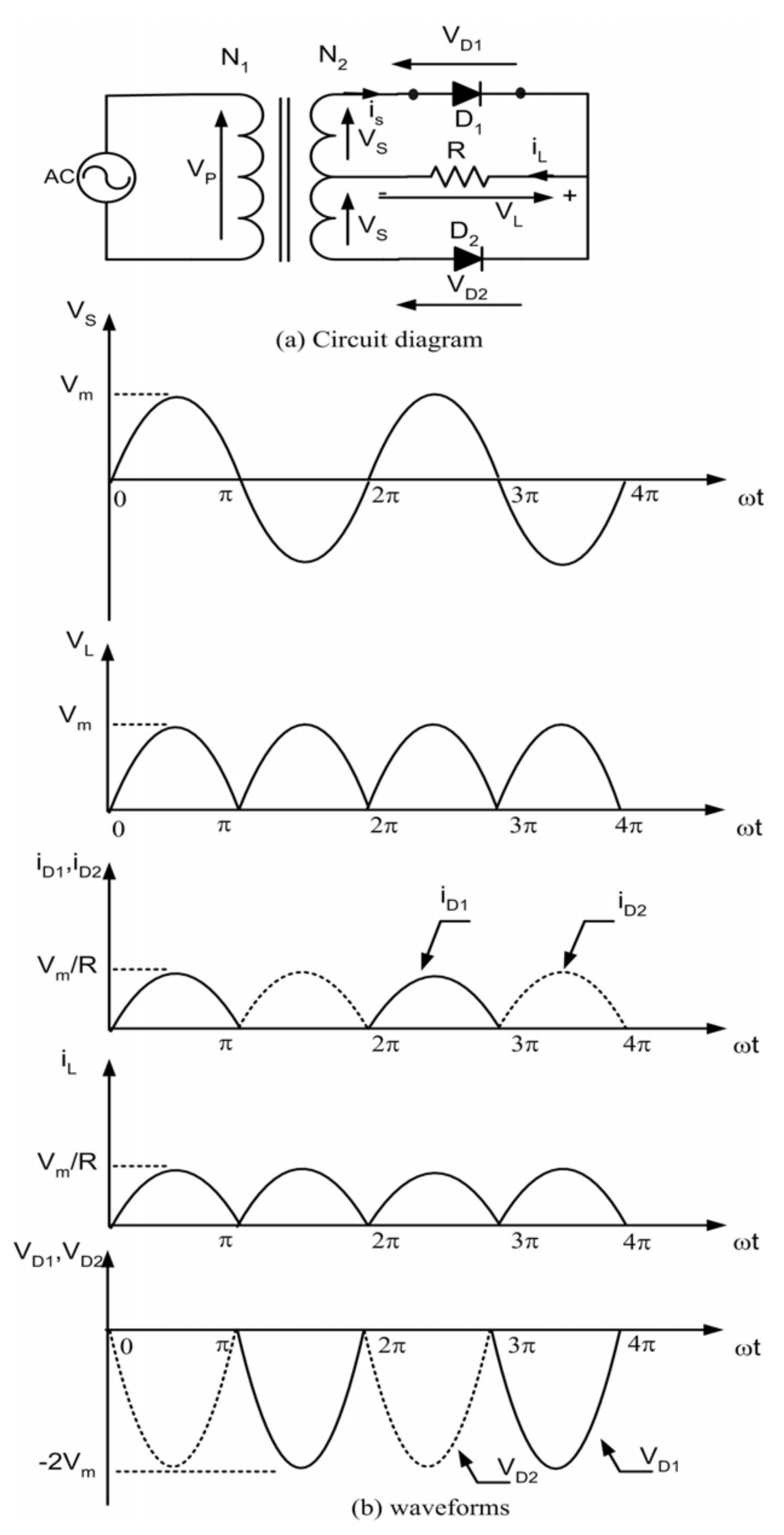
ويجب ملاحظة أن ١/TUF=١/٠٫٢٨٦=٣٫٤٩٦ وهذا يعني أنه يجب استخدام محول في دائرة التوحيد بقيمة تساوي ٣٫٤٩٦ من القيمة المقننة عندما يستخدم ليضخ نفس القدرة من منبع جهد متردد. كما يجب أيضا ملاحظة أن المحول يحمل تيار مستمر نظرا لتوحيد نصف موجة وهذا بطبيعة الحال يؤدي إلى تشبع المحول وينتج مشاكل للشبكة الكهربية.

٢ -١ -٢ موحد الموجة الكاملة ذو نقطة المنتصف الأحادي الوجه

Single-phase full-wave center-tap rectifier

يوضح شكل ٢ -٢ دائرة موحد ذات نقطة المنتصف وكذلك شكل موجات الخرج. وتتميز هذه الدائرة بأنها تحتاج فقط إلى زوج واحد من الدايود يوصل كل منهما بالتبادل خلال نصف موجة وبذلك نحصل على موجة كاملة موحدة الاتجاه. ففي نصف الموجة الموجبة للمنبع يكون الجهد للنهاية العليا في الملف الثانوي للمحول موجب وبذلك يوصل الدايود D_1 ويكون جهد الخرج على الحمل مساويا للجهد V_s، ويكون الجهد العكسي المسلط على الدايود D_2 مساويا لجهد الملف الثانوي $2V_s$، لذا يكون الدايود D_2 في حالة عدم توصيل. أما في نصف الموجة السالب للمنبع تصبح النهاية السفلى للملف الثانوي موجبة وبذلك

يصبح الدايود D_2 في حالة انحياز أمامي والدايود D_1 في حالة انحياز عكسي ويوصل تيار إلى الحمل، ويبقي التيار في الحمل موحد الاتجاه. ولكن يعيب هذه الدائرة حتمية وجود محول للحصول على نقطة المنتصف.



شكل ٢ -٢ موحد موجة كاملة ذو نقطة المنتصف

يمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد الخارج على الحمل V_{dc} من العلاقة التالية:

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\omega t \quad d(\omega t)$$ ٢-١٦

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$ ٢-١٧

ويمكن أيضا حساب القيمة المتوسطة لتيار الحمل $I_{L\ dc}$ من العلاقة التالية:

$$I_{L\ dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{2V_m}{\pi R}$$ ٢-١٨

أيضا يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على الحمل على الوجه الآتي:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (V_m \sin\omega t)^2 \quad d\omega t}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{\pi}\int_0^{\pi} \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2} \quad d\omega t}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi}\left(\omega t - \frac{\sin 2\omega t}{2}\right)_0^{\pi}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$ ٢-١٩

أما القيمة الفعالة للتيار المار في الدايود(تيار الحمل) فيمكن حسابها بدلالة الجهد كالتالي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{\sqrt{2}R}$$ ٢-٢٠

يتضح من المعادلة ٢ -١٧ أن الجهد المتوسط على الحمل لموحد الموجة الكاملة يساوي ضعف الجهد لموحد نصف الموجة، ولكن الدايود يتعرض لجهد عكسي PIV يساوي أيضا ضعف الجهد لدايود موحد نصف الموجة مما يزيد من مقنن الدايود.

يمكن حساب معاملات الأداء لموحد الموجة الكاملة بنفس العلاقات والقوانين المستخدمة لموحد نصف الموجة. مع مراعاة استخدام المعادلات من ٢ -١٦ إلى ٢ -٢٠ لحساب تلك المعاملات.

٢ -١ -٣ موحد القنطرة ذو الموجة الكاملة أحادي الوجه

Single-phase full-wave bridge rectifier

يمكن الاستغناء عن المحول لموحد القنطرة إلا إذا كانت قيمة جهد المنبع المتردد غير مناسبة لقيمة الجهد المستمر المطلوب، ولكن هذا الموحد يحتاج إلى أربع دايود. يوضح شكل ٢ -٣ دائرة هذا الموحد وكذلك شكل الموجات للجهود والتيارات في الدائرة. عندما يكون جهد المنبع V_s موجب (الفترة من ٠ إلى π) يصبح الدايود D_1 في حالة انحياز أمامي ويمر تيار خلال الدايود D_1 إلى الحمل ثم من خلال الدايود D_2 إلى المنبع مرة أخرى. ويكون الجهد العكسي المسلط على D_3,D_4 مساويا للجهد V_s. وعندما يصبح جهد المنبع V_s سالب (الفترة من πإلى ٢π) يصبح الدايود D_3 في حالة انحياز أمامي ويمر تيار خلال الدايود D_3 إلى الحمل ثم من خلال الدايود D_4 إلى المنبع مرة أخرى. ويكون الجهد العكسي المسلط على D_1,D_2 مساويا للجهد V_s.

تستخدم نفس العلاقات لحساب الجهود والتيارات كما في حالة موحد الموجة الكاملة ذو المنتصف. ويجب ملاحظة أن الدايود في موحد القنطرة يتعرض لجهد عكسي يساوي نصف الجهد الذي يتعرض له الدايود في الموحد ذو المنتصف مما يقلل من مقنن الدائرة. إلا أن استخدام أربع دايود يزيد نسبيا من تكلفة الدائرة، وكذلك من الجهد الأمامي المفقود على الدايود.

مثال ٢ -٢_ للدائرة الموضحة في شكل ٢ -٣، إذا كان جهد المنبع ٤٤ فولت وقيمة مقاومة الحمل ١٠ أوم احسب التالي: الكفاءة، معامل شكل الموجة، معامل التموج، أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود.

الحل V_s=٤٤ R=١٠Ω

$$V_m = \sqrt{2}V_s = \sqrt{2}*44 = 62.23 \quad V$$

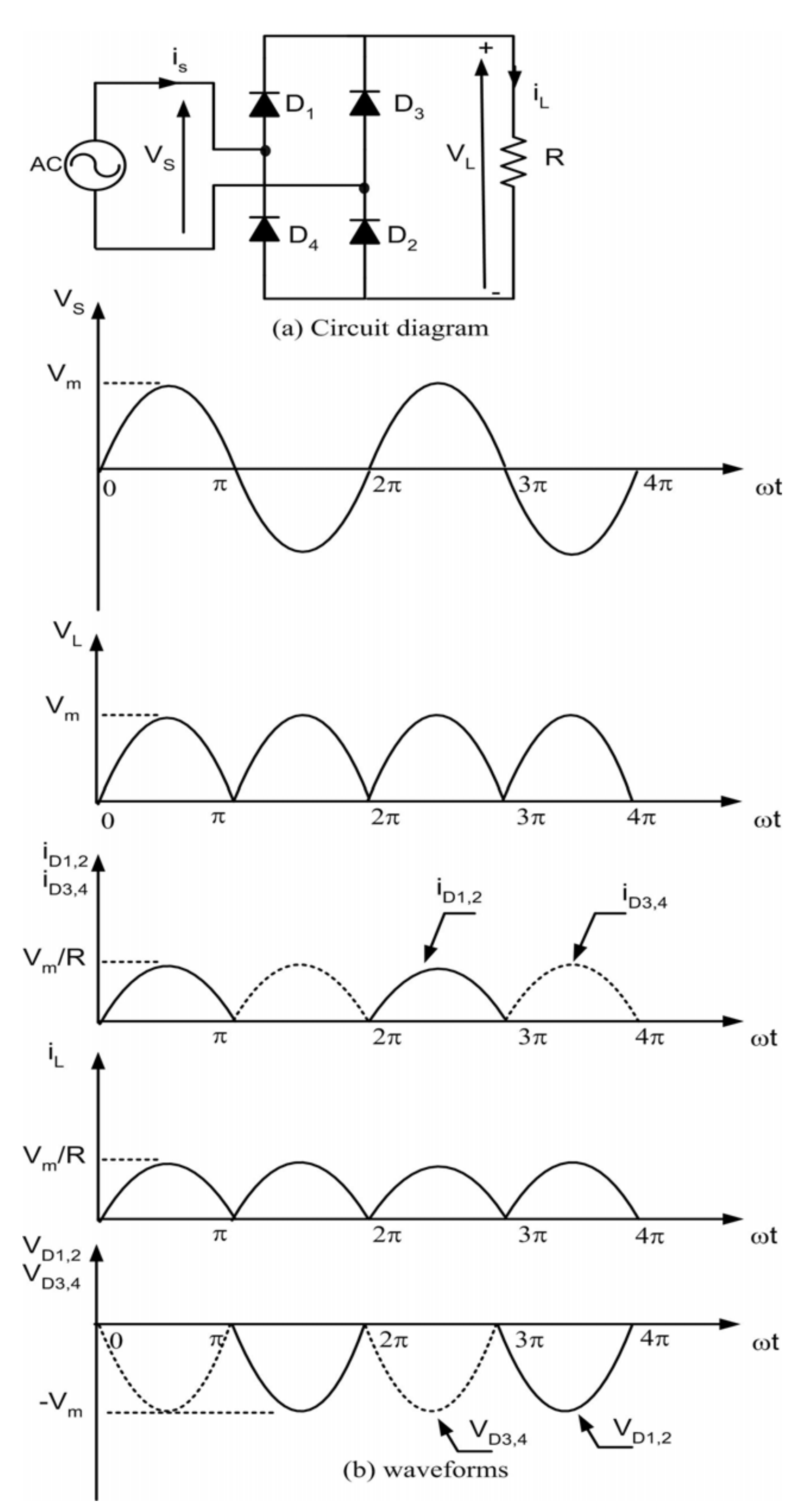
$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2*62.23}{\pi} = 39.6 \quad V$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{39.6}{10} = 3.96 \quad A$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{62.23}{\sqrt{2}} = 44 \quad V$$

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{44}{10} = 4.4 \quad A$$

$$P_{dc} = V_{dc}I_{dc} = 39.6*3.96 = 156.816 \quad W$$



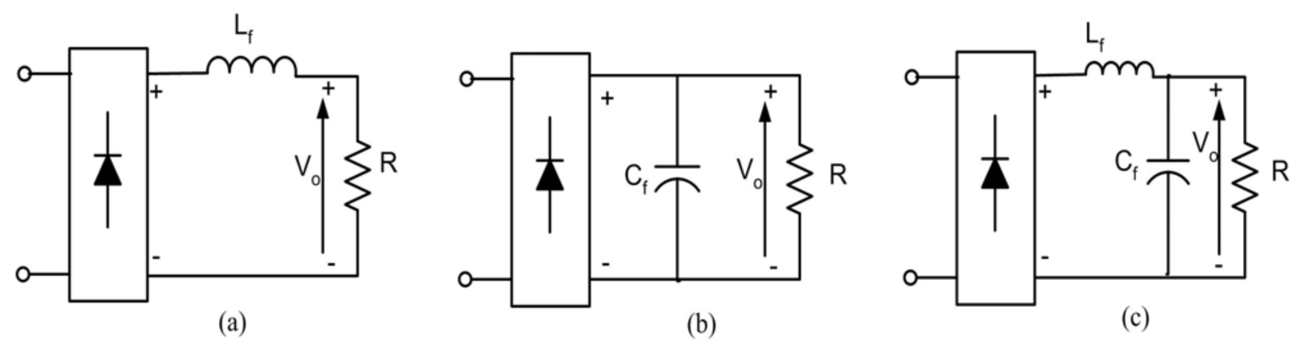
شكل ٢ -٣موحد قنطرة ذو موجة كاملة

$$P_{ac} = V_{rms} I_{rms} = 44*4.4 = 193.6 \quad W$$
$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{156.816}{193.6} = 0.81 = 81\%$$
$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{44}{39.6} = 1.11 \quad or \quad 111\%$$
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{1.11^2 - 1} = 0.48 \quad or \quad 48\%$$
PIV= V_m=٦٢,٢٣ V

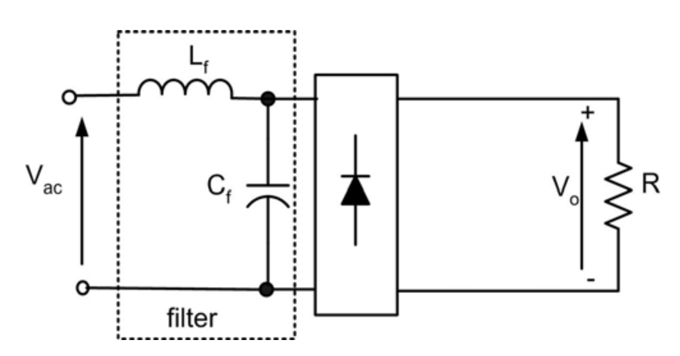
يتضح من النتائج أن أداء موحد الموجة الكاملة أفضل من أداء موحد نصف الموجة، حيث الكفاءة أعلى وتشوه موجة الخرج أقل. أيضا موحد الموجة الكاملة يعطي جهد أعلى من موحد نصف الموجة.

٢ -٢ دوائر التنعيم والتنقية

يتضح من خلال دوائر التوحيد السابقة أن الجهد الموحد الاتجاه الخارج على الحمل يحتوي على تموجات (ripple) وهذه التموجات يعبر عنها معامل التموج ومعامل شكل الموجة كما سبق ذكره. وللحصول على جهد مستمر ثابت القيمة تستخدم دوائر تنعيم وتنقية (filters) وذلك لمنع وصول التوجات إلى الحمل. وتسمى أحيانا دائرة التنعيم بالمرشح، هذا ويستخدم المرشح لتنعيم الجهد المستمر الخارج على الحمل. والمرشح المستخدم لذلك يعرف بمرشح التيار المستمر (dc filter). وعادة يكون مرشح التيار المستمر إما محاثة L أو مكثف C أو محاثة ومكثف LC كما هو موضح في شكل ٢ -٤. أيضا يمكن أن يستخدم مرشح تيار متردد (ac filter) ناحية منبع التيار المتردد حيث يمكن أن يتشوه جهد المصدر نتيجة عملية التوحيد. ويوضح شكل ٢ -٥ مرشح تيار متردد من نوع محاثة ومكثف LC.

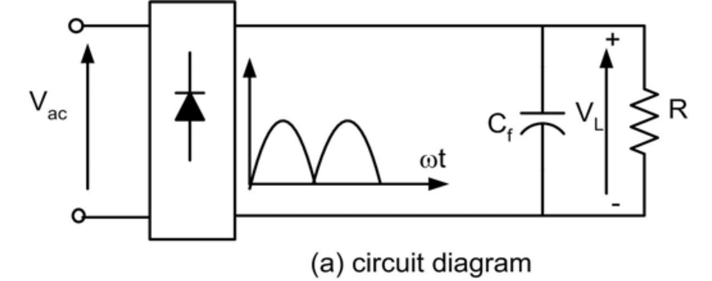


شكل ٢ -٤ دوائر تنعيم التيار المستمر dc filters

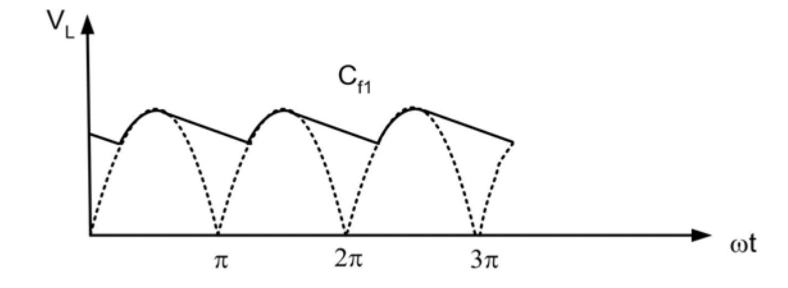


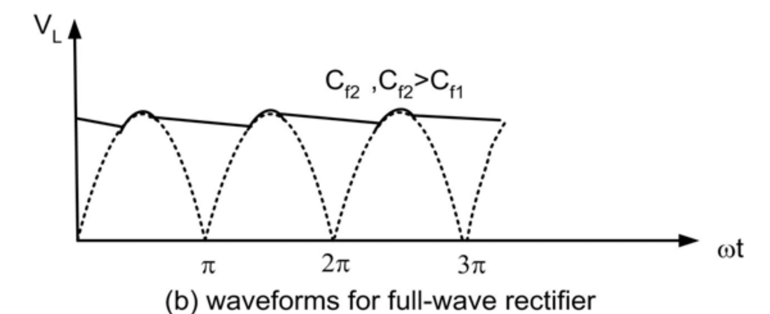
شكل ٢ -٥ دوائر تنعيم التيار المتردد ac filters

يستخدم عادة مرشح تيار مستمر من نوع المكثف (شكل ٢ -٤ب) في دوائر التوحيد سواء كانت توحيد نصف موجة أو توحيد موجة كاملة. ويوضح شكل ٢ -٦ استخدام مرشح تيار مستمر مع دائرة توحيد موجة كاملة. يبين الشكل أيضا تأثير تغير قيمة المكثف على شكل موجة الخرج. فكلما زادت قيمة السعة للمكثف قل التعرج (التموج) في موجة الخرج وبذلك يثبت شكل موجة الخرج ويقترب من قيمة ثابتة. ويمكن القول أن الجهد الموحد قد تحول إلى جهد مستمر بمفهومه المعروف.



(a) circuit diagram





(b) waveforms for full-wave rectifier

شكل ٢ -٦ دائرة تنعيم تيار مستمر لموحد موجة كاملة

يمكن حساب القيمة المتوسطة لجهد الحمل من العلاقة التالية:

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_m}{4 fRC_f} \qquad (٢-٢١)$$

حيث يمثل f قيمة التردد للموجة الموحدة وهي ضعف تردد المنبع في حالة دوائر توحيد الموجة الكاملة، ويساوى تردد المنبع في حالة دوائر توحيد نصف موجة. وتوضح المعادلة أن قيمة الجهد المتوسط تزداد بزيادة قيمة السعة للمكثف C_f .

ويمكن أيضا حساب معامل التموج لجهد الحمل من العلاقة التالية:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{2}(4 fRC_f - 1)} \qquad (٢-٢٢)$$

٢ -٣ دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه

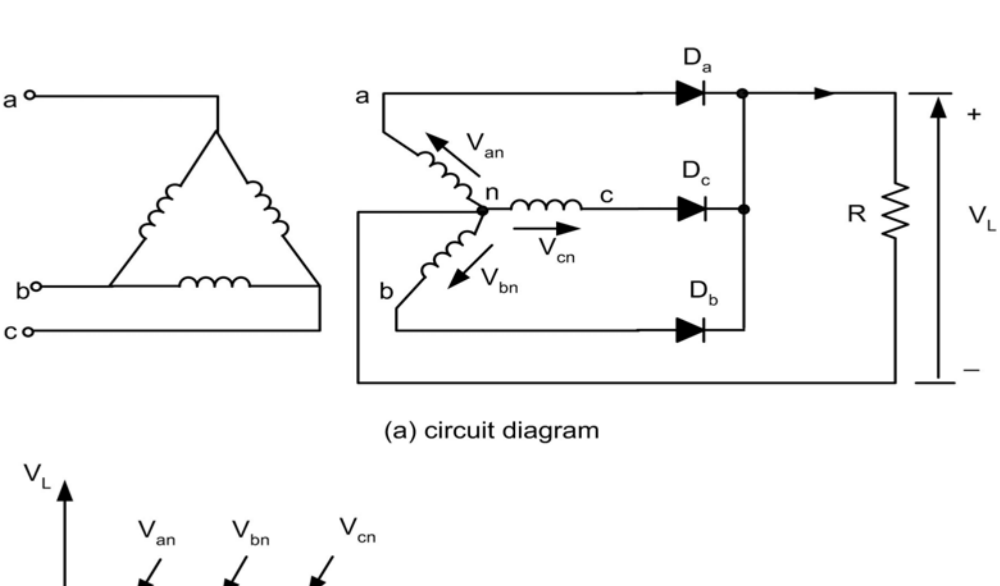
عرفنا من خلال الجزء ٢ -٢ أن أقصى جهد مستمر يمكن الحصول عليه من دوائر التوحيد أحادية الوجه ذي الموجة الكاملة هو $0.6366V_m$ (المعادلة ٢ -١٧)، وهذا الجهد مناسب لتطبيقات حتى ١٥كيلووات. إذا أردنا الحصول على جهود أعلى وبالتالي قدرات مرتفعة فيمكن استخدام دوائر توحيد ثلاثية الأوجه. وتنقسم دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه -مثل الدوائر أحادية الوجه - إلى نوعين: دوائر توحيد نصف موجة ودوائر توحيد موجة كاملة. وعادة دوائر توحيد الموجة الكاملة تعطي جهد مستمر ضعف دوائر توحيد نصف الموجة.

الشكل ٢ -٧ يبين دائرة توحيد نصف موجة ثلاثية الأوجه، حيث يستخدم دايود مع كل وجه من الأوجه الثلاثة لمنبع الجهد المتردد ويستلزم أن يكون منبع الجهد ذا أربع أطراف. ويوصل الحمل بين النقطة المشتركة لخرج الدايودات الثلاثة وبين الطرف الرابع لمنبع الجهد (نقطة التعادل).

الدايود D_a يوصل تيار في الفترة من $\pi/6$ إلى $5\pi/6$ وذلك عندما يكون جهد الوجه a أعلى من جهد الوجهين الآخرين، أيضا يوصل الدايود D_b عندما يكون جهد الوجه b أعلى من جهد الوجهين الآخرين، وبالمثل يوصل الدايود D_c عندما يكون جهد الوجه c أعلى من جهد الوجهين الآخرين. ويتضح من شكل موجات الخرج أن كل دايود يوصل ١٢٠درجة ($2\pi/3$) . ويمكن حساب القيمة المتوسطة لجهد الخرج من العلاقة التالية:

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} V_m \sin\omega t \quad d\omega t$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \qquad (٢-٢٣)$$



(a) circuit diagram

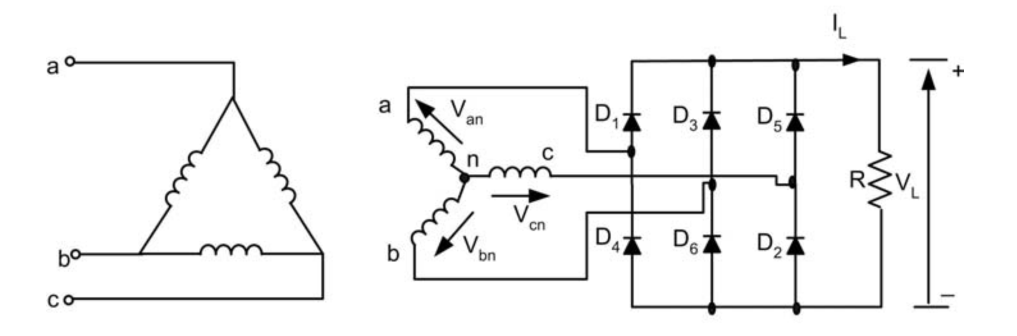
(b) waveforms

شكل ٢ -٧ دائرة توحيد نصف موجة ثلاثية الأوجه

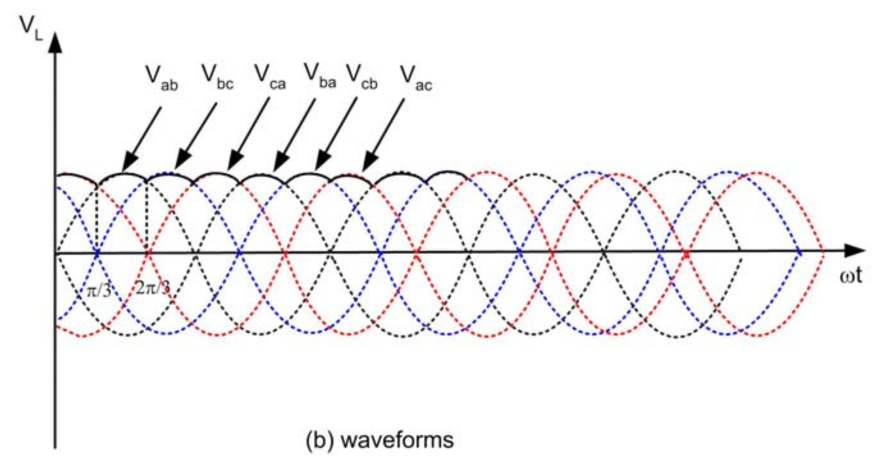
تستخدم دائرة توحيد القنطرة ثلاثية الأوجه في معظم التطبيقات ذات القدرات المرتفعة حيث تعطي جهد وقدرة أعلى من دائرة توحيد نصف الموجة. وهي تعتبر دائرة توحيد موجة كاملة. ويبين شكل ٢ -٨ ترتيب الدايودات لتشكل قنطرة توحيد ثلاثية الأوجه، ويكون توصيل التيار في الدايودات على حسب التتابع التالي: D_1D_2, D_2D_3, D_3D_4, D_4D_5, D_5D_6 and D_6D_1، هذا ويمكن اعتبار القنطرة عبارة عن دائري توحيد نصف موجة متصلتين على التوالي وبذلك يكون الجهد الخارج من القنطرة ضعف الجهد لدائرة توحيد نصف الموجة وتعطي القيمة المتوسطة للجهد الخارج من القنطرة بالعلاقة التالية:

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_m \sin\omega t \quad d\omega t$$

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \qquad ٢□٢٤$$



(a) circuit diagram



(b) waveforms

شكل ٢ -٨ دائرة توحيد موجة كاملة ثلاثية الأوجه

٢ -٤ تطبيقات

من أهم تطبيقات دوائر التوحيد استخدامها كشاحن للبطاريات. أيضا تستخدم دوائر التوحيد لتغذية محركات التيار المستمر، حيث يتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر مناسب لتغذية هذه المحركات. كما تستخدم أيضا كمرحلة هامة في دوائر التحكم في سرعة المحركات التأثيرية حيث تغذي عاكسات التيار التي تحول التيار المستمر إلى تيار متردد متغير الجهد والتردد، علاوة على ذلك تستخدم دوائر التوحيد لشحن بطاريات أجهزة الـ UPS (منبع قدرة ضد انقطاع التيار) وكذلك كشافات إنارة الطوارئ.

يوضح شكل ٢ -٩ دائرة توحيد نصف موجة لشحن بطارية ذات جهد E. في الشكل يوصل الدايود تيار عندما يكون جهد الأنود أكبر من جهد الكاثود، أي أنه عندما يكون جهد الملف الثانوي V_s أعلى من جهد البطارية E. وتكون فترة التوصيل من الزاوية α إلى الزاوية β. ويمكن حساب الزاوية α والزاوية β كالتالي:

$$V_m \sin\alpha = E \qquad ٢-٢٥$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الزاوية α كدالة في جهد البطارية وجهد المنبع.

$$\alpha = \sin^{-1}\frac{E}{V_m} \qquad ٢-٢٦$$

عندما يصبح جهد الملف الثانوي V_s أقل من جهد البطارية، يطفئ الدايود وذلك عند الزاوية β التي يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\beta = \pi - \alpha \qquad ٢-٢٧$$

وبذلك يمكن حساب تيار الشحن من العلاقة التالية:

$$i_L = \frac{v_s - E}{R} = \frac{V_m \sin\omega t - E}{R} \quad for\ \alpha \prec \omega t \prec \beta \qquad ٢-٢٨$$

حيث يمثل التيار i_L القيمة اللحظية لتيار الحمل، ومن المعادلة ٢ -٢٨ يمكن حساب القيمة المتوسطة لتيار الشحن (تيار الحمل) حسب العلاقة التالية:

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\frac{V_m \sin\omega t - E}{R}\,d(\omega t) = \frac{1}{2\pi R}\Big|-V_m \cos\omega t - E(\omega t)\Big|_{\alpha}^{\beta}$$

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi R}\left(2V_m \cos\alpha + 2E\alpha - \pi E\right) \qquad ٢-٢٩$$

مثال ٢ -٣ في شكل ٢ -٩ إذا كان جهد البطارية ١٢ فولت وسعتها ١٠٠ وات.ساعة والقيمة المتوسطة لتيار الشحن ٥ أمبير وجهد المنبع ١٢٠ فولت ونسبة التحويل للمحول ١:٢، احسب التالي: - زاوية التوصيل للدايود –قيمة مقاومة تحديد التيار –القدرة المقننة للمقاومة – زمن شحن البطارية –كفاءة دائرة التوحيد – أقصى جهد عكسي يتحمله الدايود.

الحل

E=١٢ V V_p=١٢٠ V I_{dc}=٥ A $N_١:N_٢$=٢:١

$V_s=V_p$/٢=١٢٠/٢=٦٠V

V_m=√٢ V_s=√٢*٦٠=٨٤,٨٥ V

$$\alpha = \sin^{-1}\frac{E}{V_m} = \sin^{-1}\frac{12}{84.85} = 0.1419\,rad \quad or\ 8.13^{o}$$

$$\beta = \pi - \alpha = 180 - 8.13 = 171.87^{o}$$

تحسب زاوية توصيل الدايود δ من العلاقة التالية:

$\delta=\beta-\alpha=$١٧١,٨٧°-٨,١٣°=١٦٣,٧٤°

يحسب تيار شحن البطارية I_{dc} من العلاقة التالية:

$$I_{dc}=\frac{1}{2\pi R}\left(2V_m\cos\alpha+2E\alpha-\pi E\right)$$

من معادلة التيار يمكن حساب قيمة المقاومة R اللازمة لتحديد قيمة التيار عند ٥ أمبير كالتالي:

$$R=\frac{1}{2\pi I_{dc}}\left(2V_m\cos\alpha+2E\alpha-\pi E\right)=\frac{1}{2\pi*5}\left(2*84.85*\cos 8.13^{o}+2*12*0.1419-\pi*12\right)$$

$$R=4.26\Omega$$

يمكن حساب القيمة الفعالة لتيار الشحن من العلاقة التالية:

$$I_{rms}=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left(\frac{V_m\sin\omega t-E}{R}\right)^2 d(\omega t)}$$

$$=\sqrt{\frac{1}{2\pi R^2}\left[\left(\frac{V_m^2}{2}+E^2\right)(\pi-2\alpha)+\frac{V_m^2}{2}\sin 2\alpha-4V_m E\cos\alpha\right]}$$

$$I_{rms}=8.2A$$

من حساب القيمة الفعالة للتيار يمكن حساب القدرة المقننة للمقاومة R من العلاقة التالية:

$P_R=I_{rms}^2R=$**٨,٢²*٤,٢٦=٢٨٦,٤** W

تعطي المعادلة التالية قيمة القدرة المتوسطة أو قدرة الشحن للبطارية:

$P_{dc}=EI_{dc}=$**١٢*٥=٦٠**W□

ومنها يمكن حساب زمن الشحن كالتالي:

$hP_{dc}=$**١٠٠**   or $h=$**١٠٠**$/P_{dc}=$**١٠٠/٦٠= ١,٦٦٧**h

يمكن حساب كفاءة دائرة التوحيد η حسب العلاقة التالية:

$$\eta=\frac{P_{dc}}{P_{dc}+P_R}=\frac{60}{60+286.4}=17.32\%$$

أقصى جهد عكسي يتحمله الدايود يسحب من العلاقة التالية:

$PIV=V_m+E=$٨٤,٨٥+١٢=٩٦,٨٥ V

من المثال يتضح أن كفاءة الدائرة لا تتعدي ١٨٪، ويمكن تحسين كفاءة دائرة الشحن إذا استبدلت دائرة التوحيد لنصف موجة بدائرة توحيد موجة كاملة. وعلى المتدرب أن يعيد الحل مستخدما دائرة توحيد موجة كاملة ويقارن النتائج التي سوف يحصل عليها مع نتائج المثال المذكور.



(a) Circuit diagram

(b) waveforms

شكل ٢ -٩ دائرة شحن بطارية

أسئلة وتمارين على الوحدة الثانية

١ - ما هي وظيفة دوائر التوحيد؟

٢ - اذكر أنواع دوائر التوحيد أحادية الوجه. وكذلك ثلاثية الأوجه.

٣ - عرف معاملات الأداء التالية: معامل شكل الموجة –معامل التموج - كفاءة التوحيد – معامل الاستخدام لمحول دائرة التوحيد.

٤ - ما الفرق بين دائرة توحيد نصف موجة ودائرة توحيد موجة كاملة؟

٥ - اكتب معادلة الجهد الخارج من دائرة توحيد نصف موجة أحادية الوجه.

٦ - اكتب معادلة الجهد الخارج من دائرة توحيد موجة كاملة أحادية الوجه.

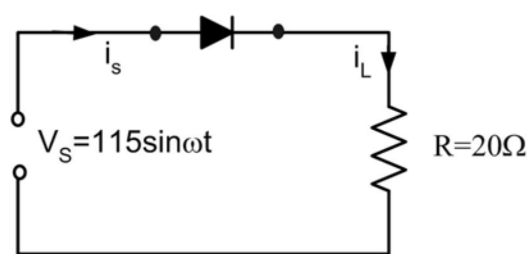
٧ - ما تردد الجهد الخارج من دائرة توحيد موجة كاملة أحادية الوجه؟

٨ - اذكر مميزات استخدام دائرة توحيد ثلاثية الأوجه على دائرة توحيد أحادية الوجه.

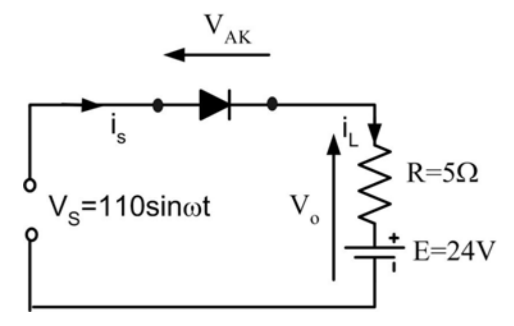
٩ - ما الهدف من استخدام دوائر التنعيم؟

١٠ - اذكر بعض تطبيقات دوائر التوحيد.

١١ - في الدائرة المبينة أوجد القيمة المتوسطة لتيار المنبع وكذلك أوجد القدرة المسحوبة من منبع الجهد المتردد.



١٢ - في الدائرة المبينة ارسم شكل الموجات لكل من V_o, i_L, V_s, V_{AK} ، ثم احسب القدره المسحوبة من منبع الجهد المتردد.



١٣ - للدائرة الموضحة في شكل ٢ -٢، إذا كان جهد المنبع ١٢٠ فولت ونسبة التحويل للمحول ١:٥ وقيمة مقاومة الحمل ١٢ أوم، احسب التالي: القيمة المتوسطة للجهد الخارج على المقاومة، القيمة المتوسطة لتيار الحمل، القيمة الفعالة لجهد وتيار الحمل، الكفاءة، معامل شكل الموجة، معامل التموج ، أقصى جهد عكسي مسلط على الدايود، القيمة المتوسطة لتيار الدايود.

١٤ - للدائرة الموضحة في شكل ٢ -٧، إذا كان جهد الخط للمنبع ٣٨٠ فولت ونسبة التحويل للمحول ١:١٠ وقيمة مقاومة الحمل ١٠ أوم، احسب التالي: القيمة المتوسطة للجهد الخارج على المقاومة، القيمة المتوسطة لتيار المقاومة، القيمة المتوسطة لتيار الدايود.



إلكترونيات القدرة

الموحدات المحكومة

الموحدات المحكومة

٣

الجدارة: التعرف على أنواع واستخدامات دوائر الموحدات المحكومة وتطبيقاتها.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. أن تتعرف على الأنواع المختلفة لدوائر التوحيد المحكومة.
٢. رسم أشكال موجات التيار والجهد لكل نوع من دوائر التوحيد المحكومة.
٣. حساب القيمة المتوسطة للجهد والتيار في دوائر التوحيد المختلفة.
٤. بيان تأثير الحمل الحثي على عملية التوحيد.
٥. كيفية التحكم في الجهد الخارج من دوائر التوحيد المحكومة.
٦. التعرف على أهم تطبيقات دوائر التوحيد المحكومة في مختلف المجالات الصناعية والتطبيقية.
٧. تشخيص الأعطال لدوائر التوحيد.
٨. التعاون مع زملائك لتصميم وتنفيذ إحدى دوائر الموحدات المحكومة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض(بريجكتور).

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر دوائر وقياسات -٢ والوحدة الأولى والثانية من هذا المقرر.

الموحدات المحكومة Controlled Rectifiers

تستخدم الموحدات المحكومة للتحويل من تيار متردد إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثيرستورات"، حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثيرستور. ويتم إشعال الثيرستور في دوائر الموحدات المحكومة بتسليط نبضة على البوابة بينما يتم إطفائه طبيعيا في حالة الأحمال الممثلة بمقاومة، أما في حال الأحمال الحثية (ملفات) فيتم إطفائه بإشعال ثيرستور آخر في دائرة الموحد المستخدم وذلك خلال النصف السالب من الموجة.

وتتميز الموحدات المحكومة بالبساطة والكفاءة العالية وقلة التكلفة ولذلك تستخدم بكثرة في التحكم في التطبيقات الصناعية التي تتطلب سرعات متغيرة ويمكن تقسيم الموحدات المحكومة حسب نوع المصدر إلى نوعين رئيسيين: موحدات أحادية الوجه وموحدات ثلاثية الأوجه، كما يمكن تقسيم كل نوع منها إلى أربع أنواع هي:

موحد نصف موجة محكوم "Half Wave Converter"

موحد موجة كاملة نصف محكوم "Semi-converter"

موحد موجة كاملة محكوم "Full Wave Converter"

المغير المزدوج "Dual Converter"

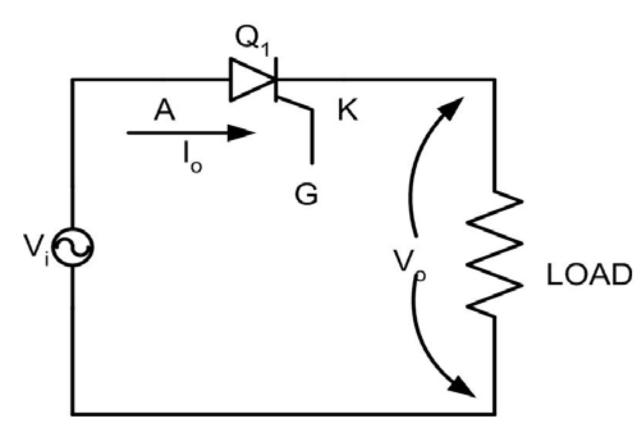
وسوف نستعرض كل نوع من هذه الأنواع في الجزء التالي.

٣-١ موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم Single Phase Half Wave Converter

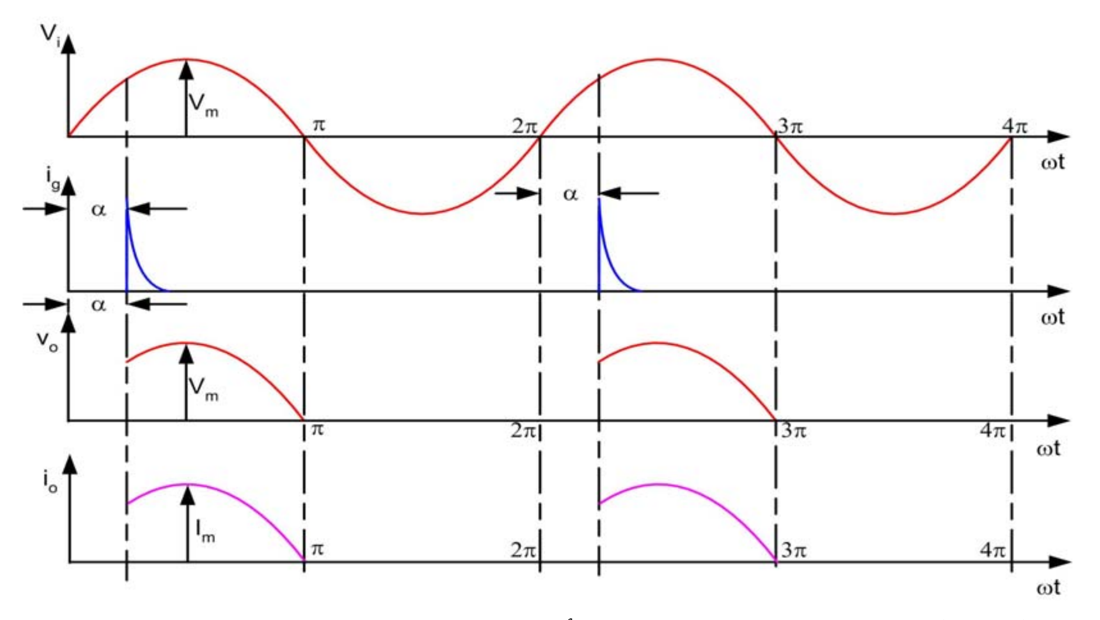
٣-١-١ موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي

ولكي نفهم كيفية عمل الموحدات المحكومة فسنبدأ بدائرة بسيطة لموحد نصف موجة محكوم يتكون من عنصر توحيد محكوم (ثيرستور) واحد فقط كما في شكل (٣-١). ويستخدم هذا الموحد لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة. ففي خلال النصف الموجب من الموجة يكون جهد الأنود "A" أعلى من جهد الكاثود "K" ويكون الثيرستور في حالة انحياز أمامي فعند إشعال الثيرستور عن طريق تيار البوابة عند زاوية إشعال "α" فإن جهد الدخل سوف يظهر على الحمل ويبدأ مرور التيار في الحمل من خلال الثيرستور وعندما يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند "$\omega t=\pi$" فإن التيار المار بالحمل يكون مساويا للصفر أيضا ويصبح الثيرستور في حالة فصل وعندما يبدأ النصف السالب من الموجة فإن جهد

الأنود "A" سيكون أقل من جهد الكاثود "K" ويكون الثيرستور في حالة انحياز عكسي بمعنى أنه لايمكن إشعاله خلال تلك الفترة ويستمر الوضع كذلك حتى تبدأ الموجة الموجبة مرة أخرى ويتم اشعال الثيرستور مرة أخرى. ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٣ -٢)



شكل (٣ -١) موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي



شكل (٣ -٢) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج "V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة الخرج في خلال الفترة الزمنية "٠□٢π" كما يلي:

$$V_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) \qquad ١-٣$$

وكما هو واضح من المعادلة (١□٣) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α". ولكن التيار في الحمل الناتج من استخدام هذا الموحد يكون متقطع وهذا غير موغوب فيه في التطبيقات الصناعية المختلفة لذا يندر استخدام مثل هذا الموحد ويقتصر استخدامه على القدرات الصغيرة جدا.

مثال (٣ -١)

موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠ أوم وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ فولت، المطلوب:

-رسم أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة.

-القيمة المتوسطة لتيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٤٥ درجة.

-زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار ٦ أمبير .

-أقصى قيمة يمكن الحصول عليها لتيار الحمل.

الحل

- أشكال موجات التيار والجهد في الدائرة كما في شكل (٣ -٢)

- تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 46.816(1+\cos 45) = 79.92 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.92 \qquad \text{amp.}$$

- زاوية الإشعال للحصول على تيار ٦A

$$V_o = I_o R = 6\times 10 = 60 \qquad \text{volt}$$

بالتعويض في المعادلة (١□٣)عن قيمة V_o يمكن إيجاد الزاوية α

α= ٧٣,٦٤°

- أقصى قيمة لتيار الحمل للحصول على أقصى قيمة للتيار يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر.

$$V_{o\max} = \frac{V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 46.816(1+\cos 0) = 93.63 \qquad \text{volt}$$

$$I_{o\max} = \frac{V_{o\max}}{R} = 9.36 \qquad \text{amp.}$$

٣ -١ -٢- موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي وحثي

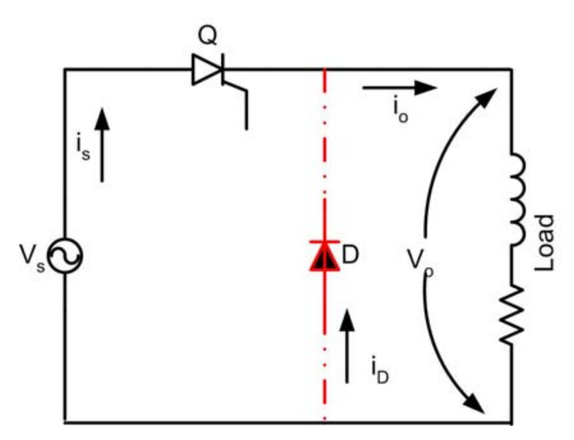
معظم الأحمال في التطبيقات الصناعية المختلفة مثل المحركات الكهربائية تحتوي على حمل مادي وحثي، لذلك يجب دراسة تأثير الأحمال الحثية على أداء الموحدات المحكومة. شكل (٣ -٣) يوضح موحد أحادي الوجه نصف موجة مع حمل يتكون من مقاومة وممانعة حثية، بينما يوضح شكل (٣ -٤) أشكال موجات التيار والجهد الناتجة عن استخدام هذا الموحد. ونلاحظ أنه عندما يتم إشعال الثيرستور (تشغيله) فإن التيار في الحمل لا يتغير لحظيا كما في حالة الحمل المادي وذلك بسبب وجود الملف الذي يقاوم مثل هذا التغير، وكذلك الحال عندما يصل جهد المصدر إلى الصفر وتبدأ الموجة السالبة فإن التيار المار في الثيرستور له قيمة أعلى من الصفر ولذلك لا يتم إطفاء الثيرستور ويظهر جزء من الموجة السالبة على أطراف الحمل، ويستمر الوضع كذلك حتى يصل التيار المار في الثيرستور إلى الصفر عند الزاوية " "والتي تتحدد قيمتها بناء على قيمة كل من المقاومة والمحاثة. ويستخدم أحيانا دايود المسار الحر "D" للتخلص من الجزء السالب من الجهد ويساعد ذلك على تقليل عدم الاتصال في موجة التيار المار بالحمل، حيث سيمر في الثيرستور المناظر للجزء الموجب من موجة الجهد ويمر في دايود المسار الحر الجزء المناظر للجزء السالب من موجة الجهد، ولذلك وفي معظم التطبيقات يستخدم أحيانا ملف تنعيم مع الحمل ولكن ومع ذلك فإن هذا الموحد قليل الاستخدام في الصناعة.

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج"V_o" من عملية التوحيد بدون دايود المسار الحر وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة الخرج في خلال الفترة الزمنية "٢π□٠" كما يلي:

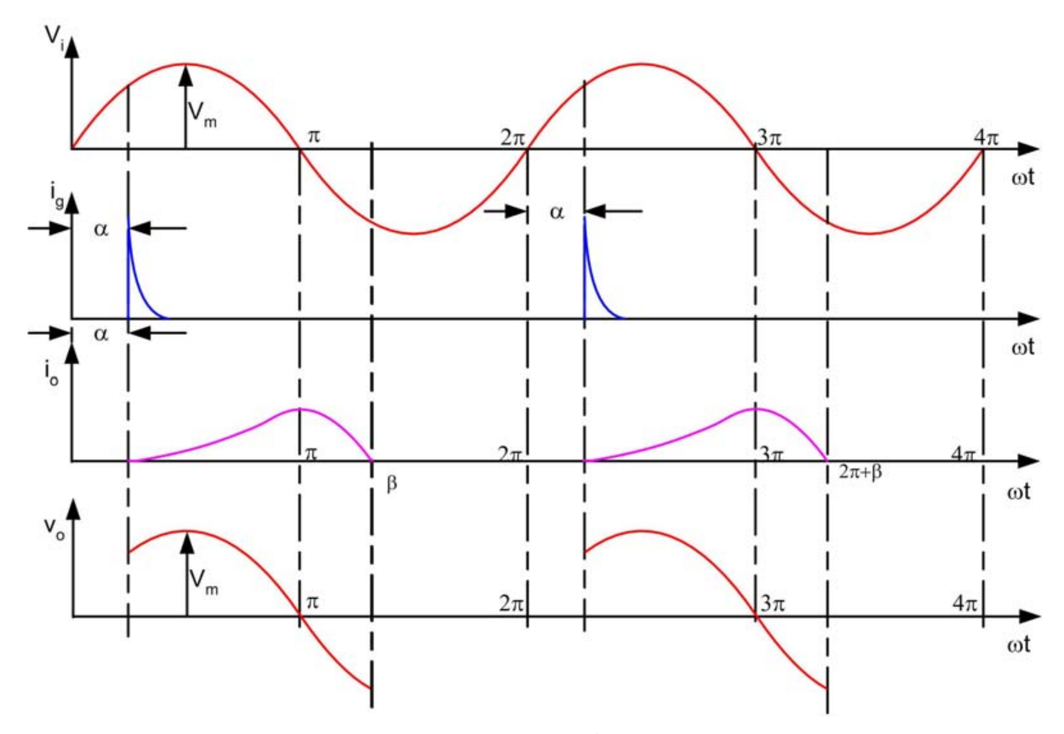
$$V_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{2\pi}\left(\cos\alpha - \cos\beta\right) \qquad ٣-٢$$

حيث "β" زاوية إطفاء الثيرستور، أما في حالة استخدام دايود المسار الحر فيكون الجهد المتوسط طبقا للمعادلة (١□٣).

نتيجة لأن معظم التطبيقات الصناعية تحتوي على أحمال مادية وحثية وتحتاج دائما إلى تيار متصل فسنكتفي في دراسة الموحدات المحكومة في الجزء المتبقي من هذه الوحدة بحالات الأحمال ذات المحاثة العالية.



شكل (٣ -٣) موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي



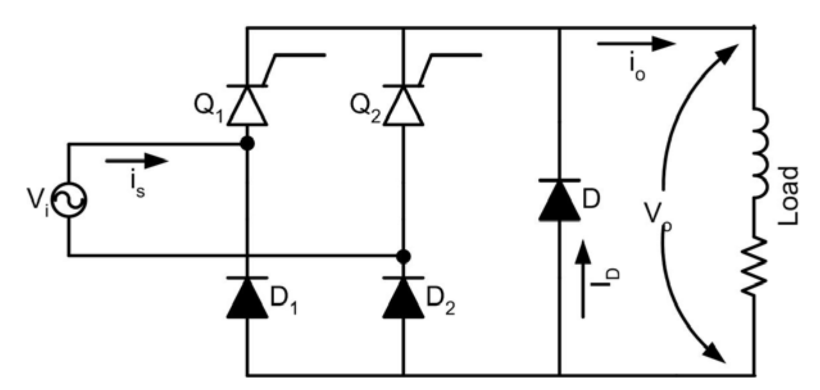
شكل (٣ -٤) موجات الجهد والتيار لموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي وحثي

٣ -٢ موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم Single-Phase Semi-Converter

يتكون الموحد النصف محكوم من قنطرة تحتوي على أربع عناصر توحيد كما في شكل (٣ -٥)، اثنان منهما عبارة عن ثيرستور (Q_1,Q_2) والآخران عبارة عن دايود (D_1, D_2) بالاضافة إلى دايود المسار الحر "D" وسوف نقتصر في دراساتنا على حالة الحمل الذي يحتوي على ممانعة حثية عالية.

في النصف الموجب من الموجة يتم إشعال الثيرستور "Q_1" عند زاوية "α" ويمر التيار من خلاله إلى الحمل ومرورا بالدايود "D_1" ويستمر ذلك حتى يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند "$\omega t=\pi$". وفي خلال الفترة "$\pi+\alpha>\omega t>\pi$" يكون جهد المصدر سالبا ويكون دايود المسار الحر "D" في حالة انحياز أمامي وبالتالي يشكل قصر على الحمل ويمر به تيار الحمل - وهذا التيار يكون ثابت القيمة بسبب وجود ملف عالي القيمة في دائرة الحمل - ويتم إطفاء الثيرستور "Q_1"

أما خلال الفترة "$2\pi>\omega t>\pi+\alpha$" يتم إشعال الثيرستور "Q_2"عند زاوية "$\pi+\alpha$" ويمر التيار من خلاله إلى الحمل ومرورا بالدايود "D_2" ويستمر ذلك حتى يصل جهد الدخل إلى القيمة صفر عند "$\omega t=2\pi$" فيتحول تيار الحمل مرة أخرى ليمر من خلال دايود المسار الحر ويتم إطفاء الثيرستور "Q_2" ويتم ذلك في خلال الفترة "$2\pi+\alpha>\omega t>2\pi$" ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال الثيرستور "Q_1" مرة أخرى. ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلي ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٣ -٦).

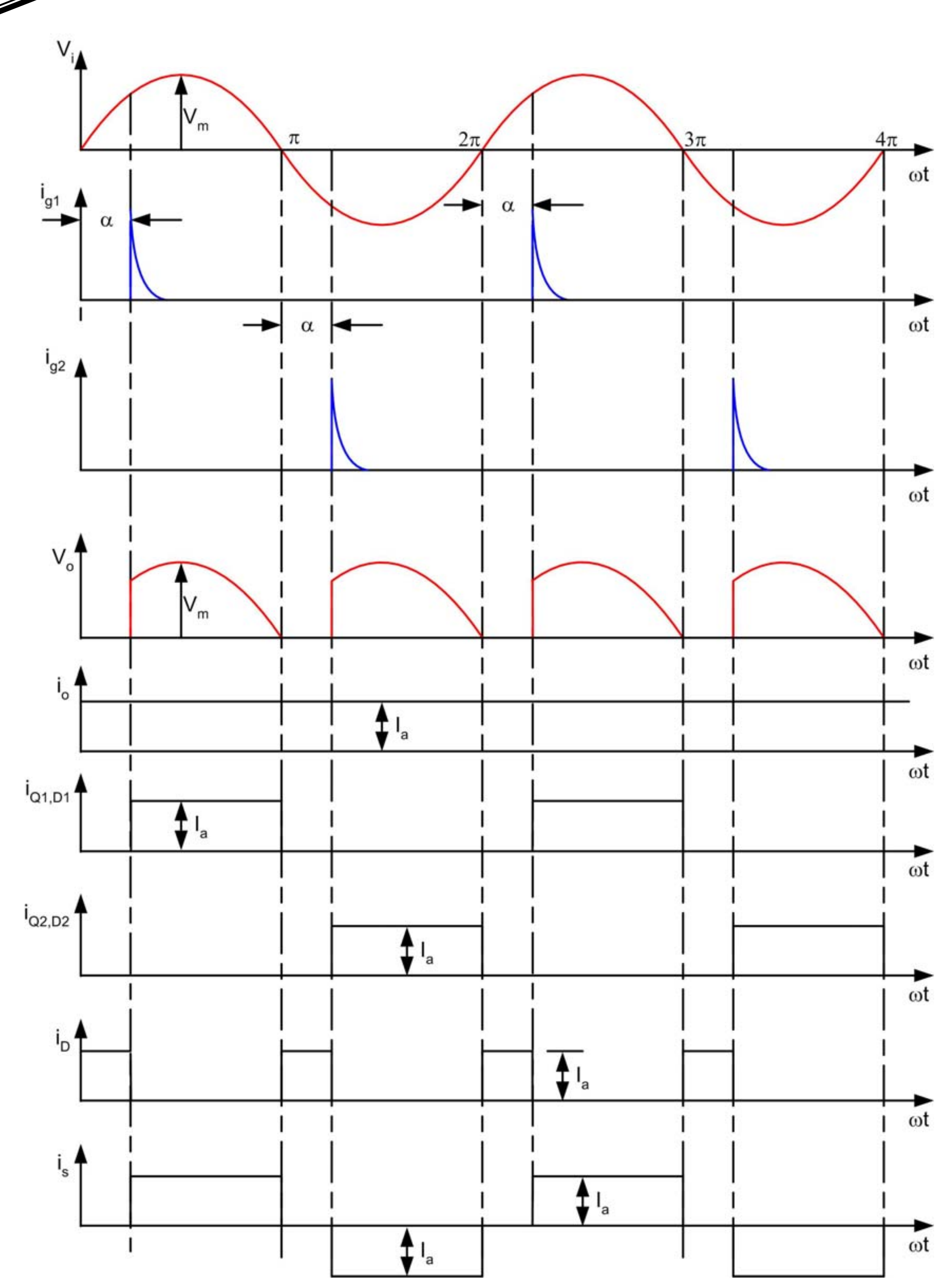


شكل (٢ -٥) موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج"V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "٠-π" كما يلي:

$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}\left(1+\cos\alpha\right) \qquad ٣-٣$$

وكما هو واضح من المعادلة (٣ -٣) فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α"، ومن الواضح أيضا أن جهد الخرج لهذا الموحد دائما يكون موجبا وكذلك تيار الحمل. لذلك يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي لا تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد أو التيار " One quadrant".



شكل (٣ -٦) موجات الجهد والتيار للموحد أحادي الوجه نصف محكوم مع حمل ذو محاثة عالية

مثال (٣ -٢)

موحد أحادي الوجه كامل الموجة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٥ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ فولت احسب:

-تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٦٠ درجة.

-زاوية الإشعال اللازمة للحصول على جهد مقداره ١٥٠ فولت.

-أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل.

الحل

- تيار الحمل

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{V_m}{\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 93\cdot633(1+\cos 60) = 140.4495 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 9.3633 \qquad \text{amp.}$$

- **زاوية الإشعال:** بالتعويض في المعادلة (٣□٣) عن الجهد V ١٥٠.

α= ٥٢,٩٨٧°

- أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل.

للحصول على أقصى قيمة للجهد على أطراف الحمل يجب أن تكون زاوية الإشعال مساوية للصفر.

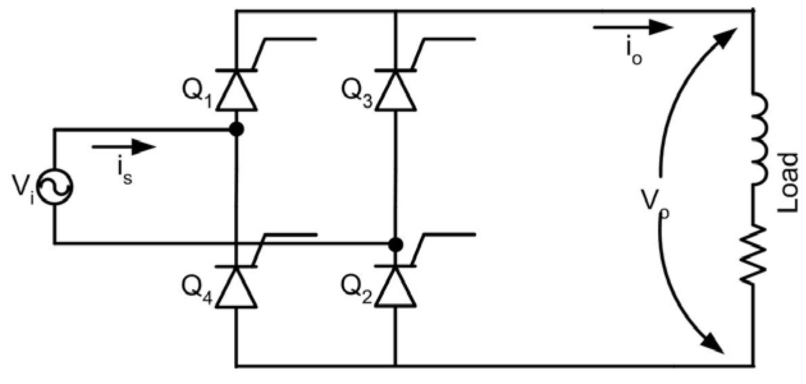
$$V_{o\max} = \frac{V_m}{\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 93.633(1+\cos 0) = 187.266 \qquad \text{volt}$$

٣ -٣ موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم Single- Phase Full -Wave Converter

يتكون الموحد المحكوم كامل الموجة من قنطرة تحتوي على أربع عناصر توحيد جميعها ثيرستور (Q_1,Q_2,Q_3,Q_4). كما في شكل (٣ -٧) وسوف نهتم هنا بحالة الحمل الذي يحتوي على ممانعة حثية عالية.

في النصف الموجب من الموجة يكون كل من الثيرستور "Q_1"، "Q_2" في حالة انحياز أمامي، لذلك عندما يتم إشعالهما عند زاوية "α" - وذلك بتسليط نبضة على بوابة كل منهما - يتم توصيل التيار من المصدر إلى الحمل خلال "Q_1, Q_2" ونتيجة لمحاثة الحمل فإن التيار يستمر في المرور في كل من "Q_1, Q_2"

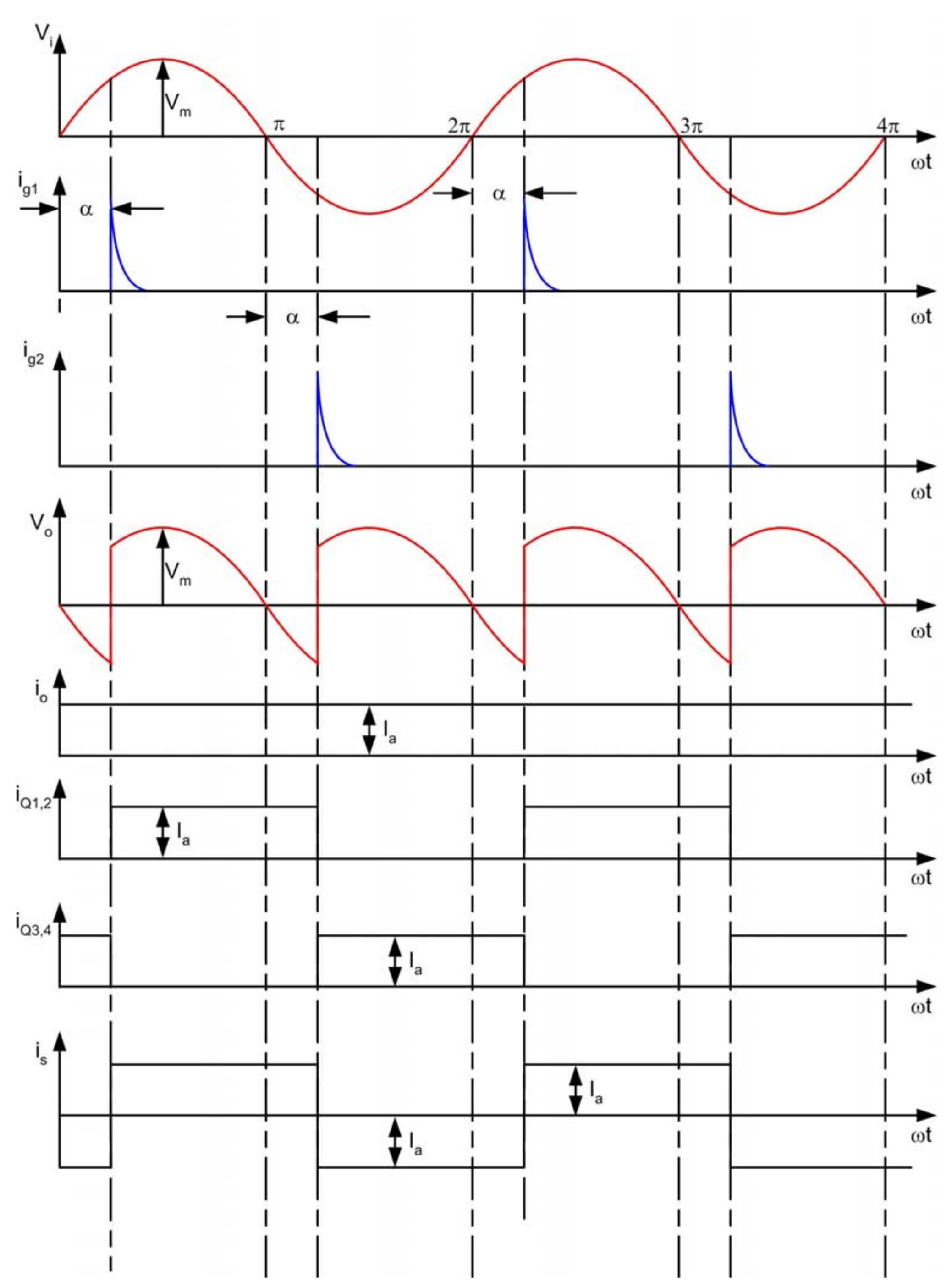
حتى بعد أن تزيد قيمة ωt عن π رغم أن جهد المصدر قد أصبح سالبا ويستمر ذلك حتى يتم إشعال الثيرستور "Q_3" والثيرستور "Q_4" - اللذين يكونان في حالة انحياز أمامي - عند زاوية "π+α" ويمر التيار من خلالهما إلى الحمل ويستمر ذلك حتى يتم إشعال كل من الثيرستور "Q_1" والثيرستور "Q_2" عند زاوية "٢π+α". ويتكرر ذلك مع كل دورة وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٣ -٨).



شكل (٣ -٧) موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم

ويمكن إيجاد القيمة المتوسطة للجهد المستمر الناتج"V_o" من عملية التوحيد وذلك بإيجاد التكامل لشكل موجة جهد الخرج في خلال الفترة الزمنية "α-(π+α)"، وتكون طبقا للمعادلة (٣ -٤). وكما هو واضح من معادلة الجهد المتوسط فإن هذا الجهد يمكن التحكم في قيمته بالتحكم في قيمة زاوية الإشعال "α"، كما أن جهد الخرج لهذا الموحد من الممكن أن يكون موجبا أو سالبا على حسب قيمة زاوية الإشعال فإذا كانت زاوية الإشعال أقل من ٩٠ درجة يكون الجهد موجبا بينما يكون سالبا إذا كانت زاوية الإشعال أكبر من ٩٠ درجة أما تيار الحمل فيكون دائما موجبا لهذا يستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى عكس اتجاه الجهد "Two quadrant".

$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad ٣\text{-}٤$$



شكل (٣ -٨) موجات الجهد والتيار للموحد أحادي الوجه محكوم مع حمل ذو محاثة عالية

مثال (٣ -٣):

موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٢ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات، وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ فولت، احسب:

-تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٦٠ درجة.

-القدرة المسحوبة من المصدر P_s.

-عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون ١٢٠درجة احسب القدرة المستردة إلى المصدر.

الحل

-حساب تيار الحمل.

$$V_m = 208\sqrt{2} = 294.156 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(\cos\alpha) = 187.266(\cos 60) = 93.633 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 7.8 \qquad \text{amp.}$$

-القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$P_s = P_L = V_o I_o =$ ٧٣٠,٥٩٤ watt

-عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون ١٢٠° فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا ، ويمكن حسابه من المعادلة (٣□٤).

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi}(\cos\alpha) = 187.266(\cos 120) = -93.633 \qquad \text{volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o =$ -٧٣٠,٥٩٤ watt

٣ -٤ الموحد المزدوج أحادي الوجه Single -Phase Dual Converter

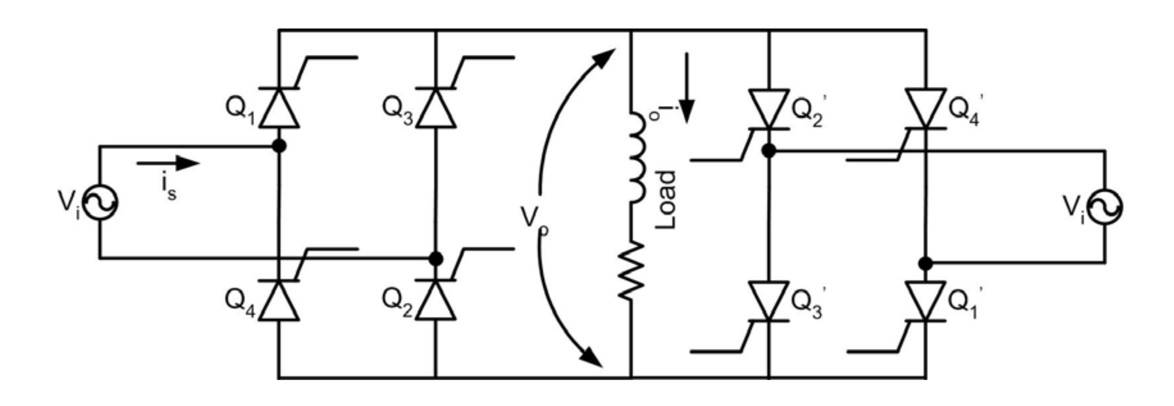
يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (٢ -٩)، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذا عكس التيار المار في الحمل ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى محركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.

في حالة تشغيل الموحد الأول والمكون من "Q_1, Q_2, Q_3, Q_4" يكون الجهد على أطراف الحمل:

$$V_{a1} = \frac{2V_m}{\pi}(\cos\alpha_{a1}) \qquad ٥-٣$$

في حالة تشغيل الموحد الثاني والمكون من "Q_1', Q_2', Q_3', Q_4'" يكون الجهد على أطراف الحمل:

$$V_{a2} = \frac{2V_m}{\pi}(\cos\alpha_{a2}) \qquad \text{٣-٦}$$

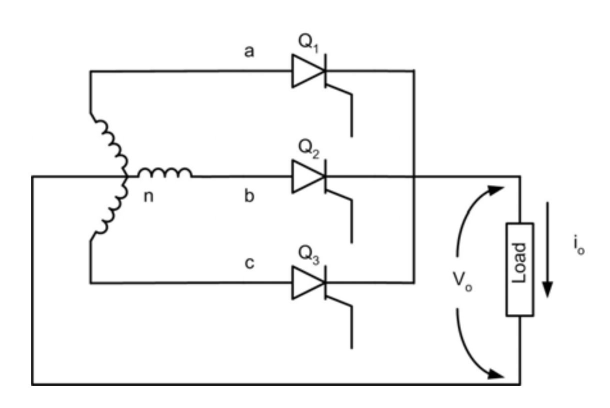


شكل (٣ -٩) الموحد المزدوج أحادي الوجه

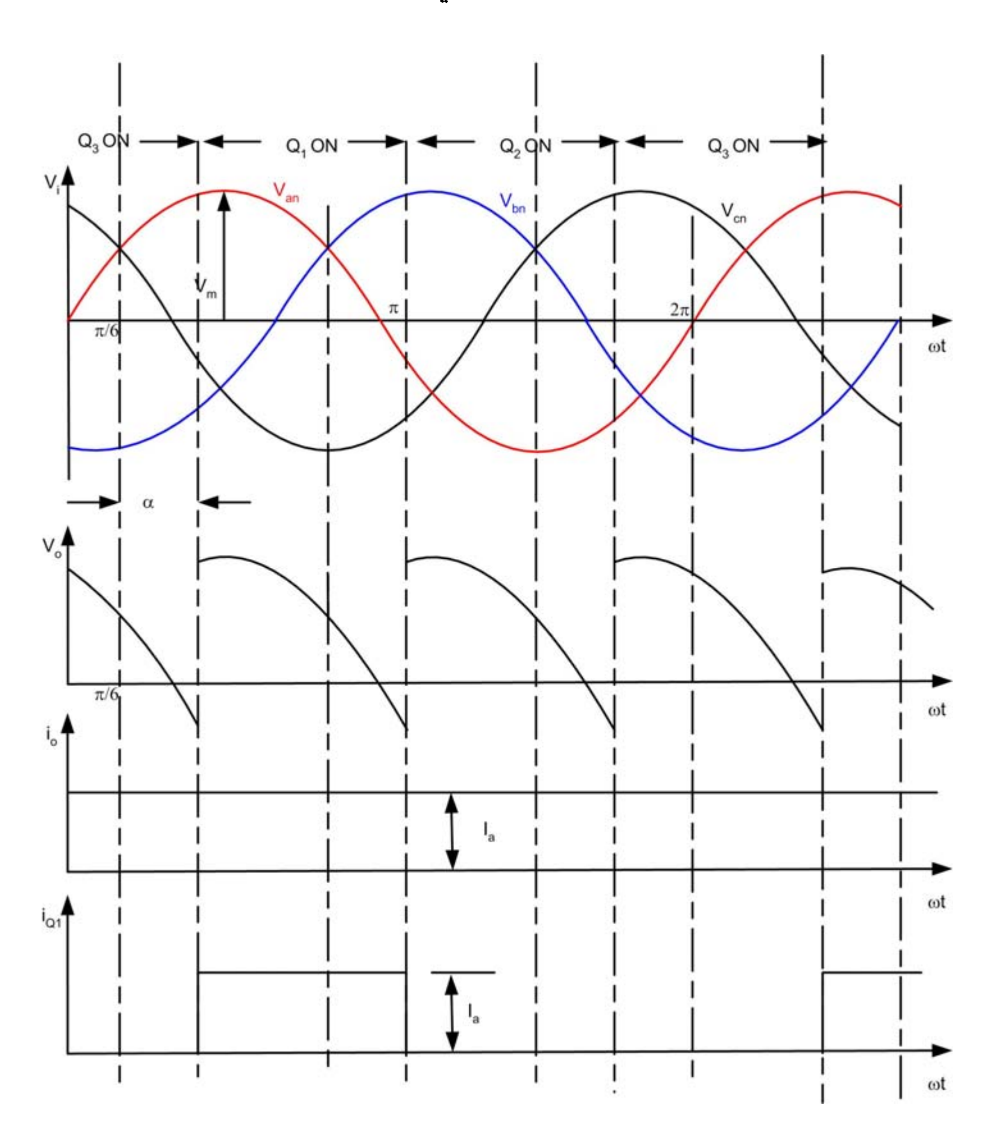
٣ -٥ الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة المحكوم Three- Phase Half- Wave Converter

تستخدم الموحدات المحكومة ثلاثية الأوجه بكثرة في التطبيقات الصناعية لعدة أسباب، منها القدرة العالية مقارنة بالموحدات أحادية الوجه كما أن تردد التذبذبات يكون عالي ولذلك فإن عملية تنعيم تيار الحمل تكون أبسط مقارنة بتلك المستخدمة مع الموحدات أحادية الوجه.

يتكون الموحد الثلاثي الأوجه نصف الموجة من ثلاث ثيرستورات "Q_1,Q_2,Q_3" توصل بين المصدر والحمل كما في شكل (٣ -١٠). في هذه الحالة يتم إشعال Q_1 عندما يكون انحيازه أماميا بمعنى أن تكون ($\omega t>\pi/6$)، وعلى ذلك يتم إشعاله عند ($\omega t=\pi/6 + \alpha$) وينتج عن ذلك أن يظهر الجهد V_{an} على الحمل ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_2 عند ($\omega t=5\pi/6 + \alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_1 يؤدي إلى إطفائه ويظهر الجهد V_{bn} على الحمل ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال Q_3 عند ($\omega t=3\pi/2 + \alpha$) فينتج عن ذلك جهد عكسي على Q_2 يؤدي إلى إطفائه ويظهر الجهد V_{cn} على الحمل وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار للموحد والحمل كما في شكل (٣ -١١).



شكل (٣ -١٠) الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة



شكل (٣ -١١) موجات الجهد واالتيار للموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة

ويمكن ملاحظة أن عدد التذبذبات في موجة الخرج أقل من الموحد أحادي الوجه. ويمكن حساب متوسط جهد الخرج بإجراء التكامل لشكل موجة جهد الخرج في الفترة من (α + π/٦) إلى (α + ٥π/٦) ، وعلى ذلك يمكن حساب هذا الجهد من المعادلة (٣ -٧).

$$V_o = \frac{3}{2\pi}\int_{\alpha+\frac{\pi}{6}}^{\alpha+\frac{5\pi}{6}} V_m \sin(\omega t) \quad d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}\cos\alpha \qquad ٣-٧$$

مثال(٣ -٤) :

موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ فولت، احسب:

- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٣٠ درجة، وكذلك تيار الحمل.
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٦٠ درجة.
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ١٢٠ درجة.
- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل.

الحل

- الجهد المتوسط وتيار الحمل عند زاوية إشعال ٣٠ درجة.

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(\cos\alpha) = 140\cdot449(\cos 30) = 121.633 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 12.166 \qquad \text{amp.}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال ٦٠ درجة.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(\cos\alpha) = 140\cdot449(\cos 60) = 70.2245 \qquad \text{volt}$$

ت) الجهد المتوسط عند زاوية إشعال ١٢٠ درجة.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(\cos\alpha) = 140\cdot449(\cos 120) = -70.2245 \qquad \text{volt}$$

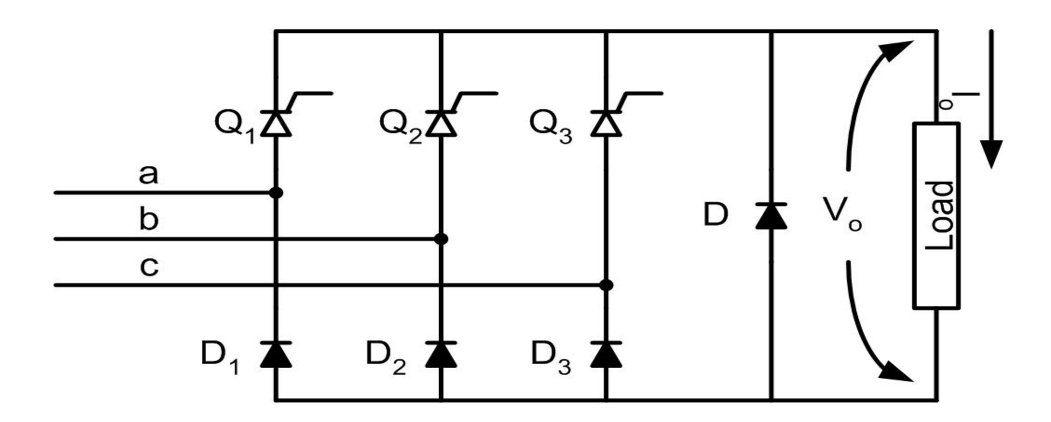
- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل يحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية لصفر.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(\cos\alpha) = 140 \cdot 449(\cos 0) = 140.449 \qquad \text{volt}$$

٣ -٦ الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم Three- Phase Semi-converter

يتكون هذا الموحد من ثلاثة ثيرستورات وثلاثة دايودات يتم توزيعهم على شكل قنطرة بالإضافة إلى دايود مسار حر كما في شكل (٣ -١٢) ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب وتيار موجب أيضا "One quadrant"، ولكنه أعلى قدرة من الموحد نصف الموجة حيث يستخدم في التطبيقات التي تصل القدرة فيها إلى حوالي ١٢٠ كيلووات ويلاحظ أن معامل القدرة له يقل بزيادة زاوية الإشعال ولكنه أعلى من معامل القدرة للموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة ويكون الجهد المتوسط الناتج طبقا للمعادلة (٣ -٨).

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}(1+\cos\alpha) \qquad ٣\text{-}٨$$



شكل (٣ -١٢) الموحد ثلاثي الوجه موجة كاملة نصف محكوم

مثال(٣ -٥) :

موحد ثلاثي الأوجه نصف موجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ فولت، احسب:

- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٤٥ درجة وكذا تيار الحمل.
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٧٥ درجة.
- القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ١٣٥ درجة.
- أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل.

-زاوية الإشعال اللازمة للحصول على تيار مقداره ٦ أمبير.

الحل

-الجهد المتوسط وتيار الحمل عند زاوية ٤٥ درجة.

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 140\cdot 449(1+\cos 45) = 239.76 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 23.976 \qquad \text{amp.}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال ٧٥ درجة.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 140\cdot 449(1+\cos 75) = 176.8 \qquad \text{volt}$$

- الجهد المتوسط عند زاوية إشعال ١٢٠ درجة.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 140\cdot 449(1+\cos 135) = 41.136 \qquad \text{volt}$$

ث) أقصى قيمة للجهد المتوسط على أطراف الحمل تحدث عندما تكون زاوية الإشعال مساوية لصفر.

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi}\left(1+\cos\alpha\right) = 140\cdot 449(1+\cos 0) = 280.898 \qquad \text{volt}$$

ج) للحصول على تيار ٦ أمبير، يجب أن يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل:

$$V_o = I_o R = 6(10) = 60 \qquad \text{volt}$$

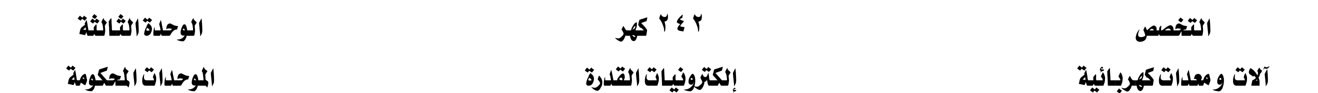
بالتعويض في المعادلة (٣ -٨) عن قيمة الجهد المتوسط بالقيمة ٦٠ فولت يمكن إيجاد زاوية الإشعال.

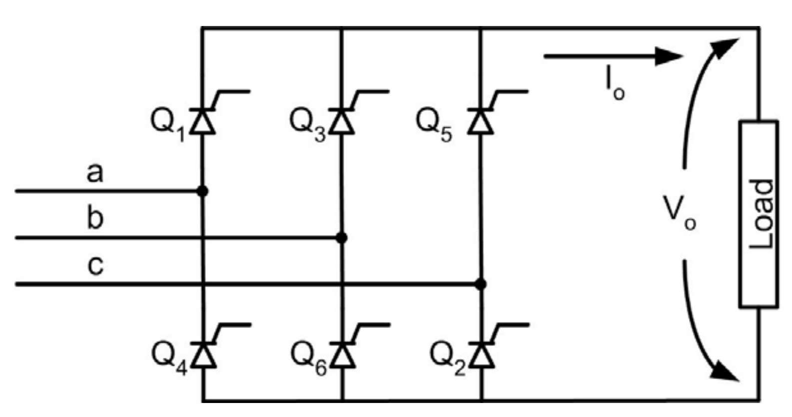
α= ٥٢,٩٨٧°

٣ -٧ الموحد ثلاثي الوجه موجة كاملة محكوم Three- Phase Full- Converter

يتكون هذا الموحد من ست ثيرستورات يتم توزيعهم على شكل قنطرة كما في شكل (٣ -١٣) ويستخدم هذا الموحد في التطبيقات التي تحتاج إلى جهد موجب أو سالب على حسب قيمة زاوية الإشعال وتيار موجب فقط"Two quadrant"، ويكون الجهد المتوسط الناتج طبقا للمعادلة (٣ -٩).

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad ٣-٩$$





شكل (٣ -١٣) الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم

مثال (٣ -٦):

موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٠ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات، وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ فولت. احسب:

-تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٤٠ درجة.

-القدرة المسحوبة من المصدر P_s.

-عند نفس التيار السابق إذا تغيرت زاوية الإشعال لتكون ١٤٠ درجة احسب القدرة المستردة إلى المصدر.

الحل

-تيار الحمل عند زاوية ٤٠ درجة.

$$V_m = \frac{208\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 169.83 \qquad \text{volt}$$

$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(\cos\alpha) = 280.898(\cos 40) = 215.18 \qquad \text{volt}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 21.518 \qquad \text{amp.}$$

-القدرة المسحوبة من المصدر = القدرة المستهلة في المقاومة

$P_s = P_L = V_o I_o =$ ٤٦٣٠,٢٥ watt

-عندما تتغير زاوية الإشعال لتكون ^{o}١٣٥ فإن الجهد على أطراف الحمل يصبح سالبا ويمكن حسابه من المعادلة (٩□٣).

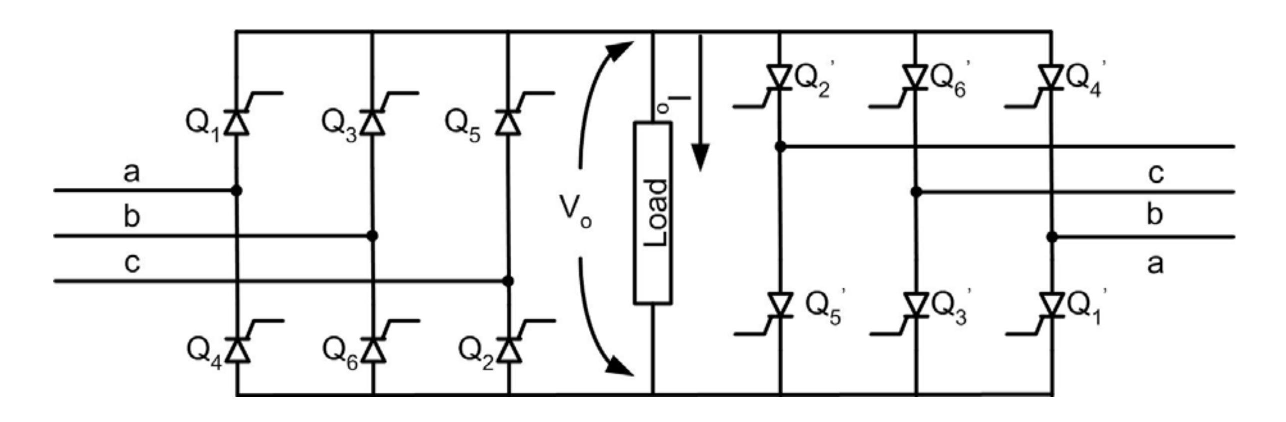
$$V_o = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}(\cos\alpha) = 280.898(\cos 135) = -198.625 \qquad \text{volt}$$

وتكون القدرة المعادة إلى المصدر

$P_s = V_o I_o =$ -٣٩٤٥,١٨٩ watt

٣ -٨ الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه Three- Phase Dual -Converter

يتكون الموحد المزدوج من موحدين محكومين يتم توصيلهما متعاكسين كما في شكل (٣ -١٤)، وذلك حتى نتمكن من عكس الجهد على أطراف الحمل وكذلك عكس التيار المار في الحمل. ويستخدم هذا الموحد بكثرة في التطبيقات الصناعية مع المحركات متغيرة السرعة وعالية القدرة.



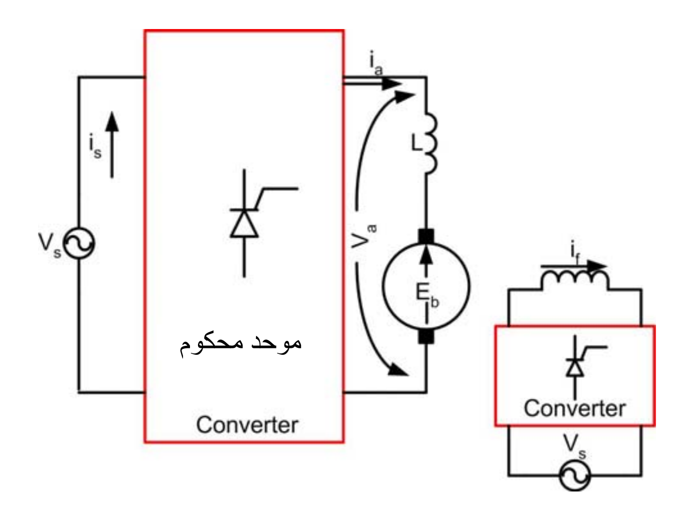
شكل (٣ -١٤) الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه

٣ -٩ تطبيقات

تستخدم الموحدات المحكومة بكثرة في التطبيقات الصناعية المختلفة وذلك بهدف السيطرة على أداء محركات التيار المستمر والتحكم في سرعتها، ويتم ذلك بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر ذي جهد يمكن التحكم في قيمته، ويتم ذلك باستخدام عناصر التوحيد المحكومة "الثيرستورات" حيث يتم التحكم في جهد الخرج بتغيير قيمة زاوية إشعال الثيرستور. ويوضح شكل (٣ -١٥) الدائرة الأساسية لكيفية استخدام دوائر الموحدات المحكومة للتحكم في محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة. وتتكون الدائرة من موحدين محكومين أحدهما في دائرة المنتج، والآخر في دائرة المجال. ويعتمد اختيار نوع الموحدات المستخدمة بناء على نوع مصدر التغذية المتوفر وعلى قدرة المحرك بالإضافة إلى طبيعة الحمل. وتتم عملية التحكم في سرعة محركات التيار المستمر عمليا عن طريقين رئيسيين:

التحكم في جهد المنتج: حيث تتناسب السرعة طرديا مع جهد المنتج وتتميز بمدى التحكم الواسع من صفر إلى السرعة المقننة ويتم تنفيذ ذلك عمليا بالتحكم في زاوية إشعال الثيرستورات في دائرة الموحد الموصلة بين المصدر والمنتج. فعندما يراد زيادة السرعة يجب زيادة جهد المنتج أي تقليل زاوية الإشعال في دائرة المنتج، وعندما يراد تقليل السرعة يجب تقليل جهد المنتج وبالتالي زيادة زاوية الإشعال.

التحكم في تيار المجال: حيث تتناسب السرعة عكسيا مع تيار المجال وتتميز بإمكانية الحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة، ويتم تنفيذ ذلك عمليا بالتحكم في زاوية إشعال الثيرستورات في دائرة الموحد الموصلة بين المصدر ودائرة المجال، فعندما يراد زيادة السرعة يجب تقليل تيار المجال ويتم ذلك بتقليل جهد المجال أي بزيادة زاوية الإشعال في دائرة المجال، وعندما يراد تقليل السرعة يجب زيادة تيار المجال أي زيادة جهد المجال وبالتالي تقليل زاوية الإشعال.



شكل (٣ -١٥) الدائرة الأساسية للتحكم في محركات التيار المستمر من خلال الموحدات المحكومة

مثال (٣ -٧):

محـرك تيـار مسـتمر منفصـل التغذيـة قدرتـه ٢٫٥ حصـان، يغـذى مـن موحـد أحـادي الوجـه موجـة كاملـة محكـوم ومتصـل بمنبـع جهـد ٢٢٠ فولـت و٦٠ هيرتـز. التيـار المقنـن للمحـرك ١٠ أمـبير عنـد السـرعة المقننـة ١٥٠٠ لفة/دقيقة. احسب التالي:

-زاوية الإشعال عند السرعة المقننة وعند سرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة.

مع العلم بأن مقاومة ملفات المنتج ٢, أوم.

الحل

بالرجوع إلى مقـرر آلات التيـار المسـتمر ١٤٢كهـر، يمكـن كتابـة المعـادلات التاليـة لمحـرك التيـار المسـتمر منفصل التغذية:

$$V_a = E_a + I_a R_a$$
$$E_a = K\ \omega$$
$$T = K\ I_a$$
$$T = \frac{P}{\omega} \qquad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

الجهد الخارج من الموحد المحكوم كدالة في جهد المنبع:

$$V_a = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$$
$$V_m = 220\sqrt{2} = 311.13 \quad volt$$

-حساب زاوية الإشعال عند السرعة المقننة:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 1500}{60} = 157.1 \quad rad/\sec$$
$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{2.5 * 746}{157.1} = 11.87 \quad N.m$$
$$K = \frac{T}{I_a} = \frac{11.87}{10} = 1.187$$
$$E_a = K\ \omega = 1.187 * 157.1 = 186.6 \quad volt$$
$$V_a = E_a + I_a R_a = 186.6 + 10 * 0.2 = 188.6 \quad volt$$
$$\cos\alpha = \frac{V_a \pi}{2V_m} = \frac{188.6 * \pi}{2 * 311.13} = 0.8946$$
$$\alpha = 26.5^o$$

-حساب زاوية الإشعال عند سرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة:

$$E_{a1} = K\ \omega_1 = 1.187 * \frac{2\pi * 500}{60} = 62.15 \quad volt$$

$$V_{a1} = E_{a1} + I_a R_a = 62.15 + 10 * 0.2 = 64.15 \quad volt$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{V_{a1}\pi}{2V_m} = \frac{64.15 * \pi}{2 * 311.13} = 0.3238$$

$$\alpha_1 = 71.1^o$$

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

١. ما أنواع الموحدات المحكومة ؟

٢. ما سبب ندرة استخدام كل من الموحد أحادي الوجه نصف الموجة المحكوم والموحد ثلاثي الأوجه نصف موجه؟

٣. ارسم دائرة لموحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم وارسم أشكال موجات الجهد والتيار عندما يكون الحمل عبارة عن مقاومة مادية فقط.

٤. كرر السؤال السابق عندما يكون الحمل مادي وحثي.

٥. ارسم دائرة لموحد أحادي الوجه نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي يحتوي على مقاومة وملف عالي القيمة. ثم ارسم أشكال موجات التيار والجهد في دائرة هذا الموحد.

٦. كرر السؤال السابق مع عدم وجود دايود المسار الحر.

٧. ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

-يستخدم الموحد أحادي الوجه النصف موجة للحصول على تيار وجهد موجبين.

-يستخدم الموحد أحادي الوجه النصف محكوم للحصول على تيار موجب وجهد سالب.

-يمكن استخدام الموحد المزدوج أحادي الوجه في أربع حالات تشغيل مختلفة.

-يستخدم الموحد ثلاثي الأوجه المحكوم للحصول على جهد موجب أو سالب وتيار موجب.

٨. ارسم دائرة لموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة وارسم أشكال موجات التيار والجهد عندما تكون محاثة الحمل عالية بحيث يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات.

٩. كرر السؤال السابق مع موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم.

١٠. موحد أحادي الوجه كامل الموجة محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ٢٠ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصل وخالي من التذبذبات وكان جهد مصدر التيار المتردد ٢٠٨ فولت فإذا كانت القدرة المستهلكة في المقاومة مقدارها ٢٠٠٠ وات. ارسم الدائرة المستخدمة وأشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة ثم احسب:

-الجهد المتوسط على أطراف الحمل

-زاوية الإشعال

-أقصى قدرة يمكن الحصول عليها

١١. موحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم يستخدم لتغذية حمل مادي عبارة عن مقاومة مقدارها ١٥ أوم وممانعة حثية عالية بدرجة تكفي لأن يكون التيار متصلا وخاليا من التذبذبات وكان مصدر التغذية ثلاثي الأوجه موصل نجمة وجهده ٢٠٨ فولت احسب تيار الحمل إذا كانت زاوية الإشعال ٣٠ درجة.

١٢. محرك تيار مستمر منفصل التغذية قدرته ٣حصان، يغذى من موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم ومتصل بمنبع جهد ٢٢٠ فولت و٦٠ هيرتز. التيار المقنن للمحرك ١٢ أمبير عند السرعة المقننة ١٥٠٠ لفة/دقيقة. احسب التالي:

-زاوية الإشعال عند السرعة المقننة وعند سرعة ٨٠٠ لفة/دقيقة.

-السرعة عند زاوية إشعال ١٥٠ درجة.

مع العلم بأن مقاومة ملفات المنتج ٢, أوم.

المملكة العربية السعودية

المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



إلكترونيات القدرة

مقطعات التيار المستمر

مقطعات التيار المستمر

٤

الجدارة: التعرف على أنواع واستخدامات مقطعات التيار المستمر

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

فهم فكرة عمل مقطعات التيار المستمر.

رسم أشكال موجات التيار والجهد لمقطع التيار المستمر من النوع الخافض.

حساب القيمة المتوسطة للجهد الناتج من مقطع التيار المستمر وفهم تأثير نسبة التشغيل على القيمة المتوسطة للجهد.

التعرف على أهم تطبيقات مقطعات التيار المستمر في الصناعة.

كيفية التحكم في الجهد الخارج من دوائر المقطعات.

التعاون مع زملائك لتصميم وتنفيذ إحدى دوائر المقطعات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض(بريجكتور).

متطلبات الجدارة: ١ - اجتياز مقرر دوائر وقياسات

٢ - والوحدة الأولى من هذا المقرر.

مقطعات التيار المستمر DC Choppers

تستخدم مقطعات التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر ذو جهد ثابت القيمة إلى تيار مستمر ذو جهد متغير القيمة (محكوم)، وتستخدم مقطعات التيار المستمر على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية والأوناش.... إلخ، وتلعب مقطعات التيار المستمر دورا مهما للتحكم في السرعة أو عمل الفرملة بإعادة التوليد ويؤدي استخدامها إلى توفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية. سنتعرف في هذه الوحدة على أهم أنواع مقطعات التيار المستمر وكذلك فكرة عملها.

٤ -١ نظرية عمل مقطعات التيار المستمر Theory of Operation

يمكن فهم فكرة عمل مقطع التيار المستمر باستخدام الدائرة الموضحة بشكل (٤ -١) والمكونة من حمل (عبارة عن مقاومة) ومفتاح ومصدر للتيار المستمر. عند توصيل المفتاح لمدة زمنية مقدارها T_{on} فإن جهد المصدر سيظهر على الحمل، وإذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية T_{off} فإن جهد الحمل سيكون مساويا للصفر، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٤ -٢)، ويمكن حساب الجهد المتوسط على الحمل كما يلي:

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} V_s\,dt = \frac{T_{on}}{T}V_s = kV_s \qquad \text{٤-١}$$

حيث:

V_s جهد المصدر

T_{on} زمن التوصيل

T_{off} زمن الفصل

T الزمن الكلي

V_o جهد الخرج

k نسبة التشغيل

وتكون القيمة المتوسطة لتيار الحمل:

$$I_o = \frac{V_o}{R} = k\frac{V_s}{R} \qquad \text{٤-٢}$$

ويمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل كما يلي:

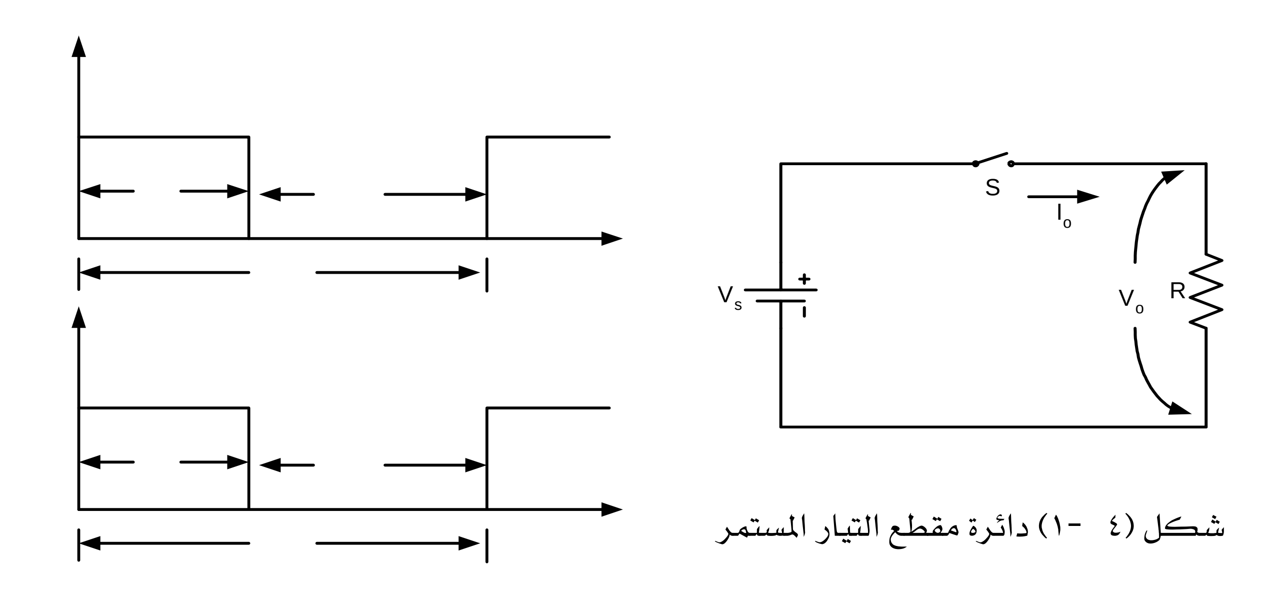


$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} V_s^{\,2} dt \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{T_{on}}{T}} V_s = \sqrt{k} V_s \qquad ٤-٣$$

وتكون القدرة المستهلكة في المقاومة "P_o" مساوية للقدرة المسحوبة من المصدر "P_s" حيث إن الفقد في الجهد على المقطع عندما يكون في حالة توصيل (on) يكون مساويا للصفر، ويمكن حساب هذه القدرة كما يلي:

$$P_s = P_o = \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} v_s i_o dt = \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} \frac{v_s^{\,2}}{R} dt = \frac{T_{on}}{T} \frac{V_s^{\,2}}{R} = k \frac{V_s^{\,2}}{R} \qquad ٤-٤$$

وتكون كفاءة المقطع في هذه الحالة ١٠٠٪.



شكل (٤ -١) دائرة مقطع التيار المستمر

شكل (٤ -٢) موجات الجهد والتيار

وواضح من المعادلة (٤ -١) أنه يمكن التحكم في الجهد عن طريق التحكم في نسبة تشغيل المقطع، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار أن يكون تردد المقطع عاليا (يتراوح ما بين Hz ٥٠٠ إلى Hz ٢٥٠٠) لذا يجب أن يكون المفتاح المستخدم أحد عناصر إلكترونيات القدرة مثل ترانزستور القدرة أو IGBT أو MOSFET أو GTO ......إلخ، ويلاحظ أن عناصر إلكترونيات القدرة التي تستخدم عمليا كمقطعات يكون عليها فقد صغير في الجهد يتراوح بين نصف فولت واثنين فولت ولكن هذا الفقد تم إهماله في استنتاج المعادلات من (٤ -١) إلى (٤ -٤) أما إذا أخذ هذا الفقد في الجهد في الاعتبار فإن القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل تكون:

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} v_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} (V_s - V_d) dt = \frac{T_{on}}{T}(V_s - V_d) = k(V_s - V_d) \qquad ٤-٥$$

حيث V_d هو الفقد في الجهد على أطراف المقطع عندما يكون في حالة توصيل، وبالمثل يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل:

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} (V_s - V_d)^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{T_{on}}{T}}(V_s - V_d) = \sqrt{k}(V_s - V_d) \qquad ٤-٦$$

كما يمكن حساب القدرة المسحوبة من المصدر كما يلي:

$$P_s = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} v_s i_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} \frac{V_s(V_s - V_d)}{R} dt = \frac{T_{on}}{T}\frac{V_s(V_s - V_d)}{R} = k\frac{V_s(V_s - V_d)}{R} \qquad ٤-٧$$

بينما يمكن حساب القدرة المستهلكة في الحمل كما يلي:

$$P_o = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} v_o i_o dt = \frac{1}{T}\int_0^{T_{on}} \frac{(V_s - V_d)^2}{R} dt = \frac{T_{on}}{T}\frac{(V_s - V_d)^2}{R} = k\frac{(V_s - V_d)^2}{R} \qquad ٤-٨$$

مما سبق يتضح لنا أن مقطع التيار المستمر يمكن استخدامه للتحكم في القدرة الكهربائية والتي يمكن أن تستخدم في التطبيقات الصناعية المختلفة، كما يمكن ملاحظة أن التحكم في القيمة المتوسطة للجهد يتم بتغيير نسبة التشغيل والتي يمكن التحكم فيها بطريقتين:

-**تعديل عرض النبضة (PWM)**، ويتم ذلك بتغيير فترة التوصيل (T_{on}) مع المحافظة على زمن الدورة (T) ثابت

-**تغيير التردد (FM)**، ويتم ذلك بتغيير زمن الدورة (T) مع المحافظة على زمن التوصيل (T_{on}) ثابت

وتنقسم المقطعات حسب نوعية أشباه الموصلات المستخدمة إلى عدة أنواع منها:

المقطعات الثيرستورية: ويستخدم فيها ثيرستور القدرة (SCR) كمفتاح، وتتميز بالقدرات العالية ولكنها تحتاج إلى دوائر إطفاء قسرية.

المقطعات الترانزستورية: ويستخدم فيها ترانزستور القدرة (BJT) كمفتاح، وتمتاز بعدم حاجتها إلى دوائر إطفاء قسرية حيث يتم تشغيله بنبضة تيار على القاعدة وإطفاؤه يتم بنهاية نبضة تيار القاعدة، ونتيجة لاعتماد ترانزستور القدرة على تيار القاعدة في الإشعال فإن هذا يعني تعقيد وصعوبة في دوائر الإشعال ويزيد التعقيد كلما زاد تيار الحمل.

مقطعات الموسفت: ويستخدم فيها ترانزستور موسفت (MOSFET) كمفتاح، وقد انتشرت بشكل ملحوظ في الصناعة، وذلك لما يتمتع به من بعض المميزات مثل:

أ -ترانزستور موسفت (MOSFET) يتم التحكم فيه بإشارة جهد وليس بإشارة تيار حيث يحتاج لتيار صغير جدا لاشعاله.

ب -البوابة معزولة عن المصدر بمعنى أنه ليس هناك ارتباط بين تيار البوابة وتيار الحمل.

جـ -يعمل عند ترددات عالية وهذا يسهل عملية تنعيم الخرج.

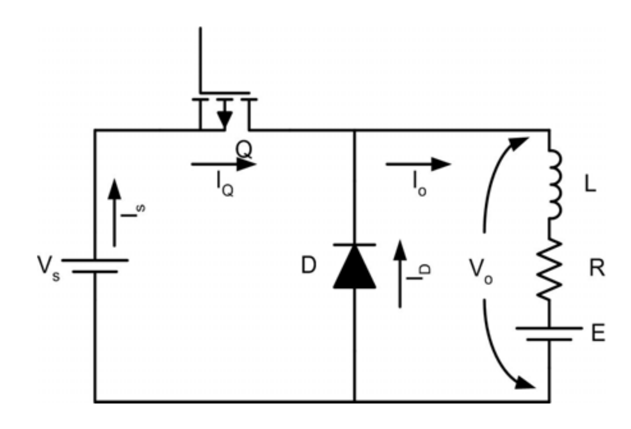
وعلى الجانب الآخر فإن قدراتها أقل من الثيرستور، ولكن يمكن التغلب على هذا العيب بتوصيلها على التوازي.

ويمكن تقسيم مقطعات التيار المستمر من حيث استخدامها إلى نوعين رئيسيين هما المقطعات الخافضة والمقطعات الرافعة.

٤ -٢ المقطعات الخافضة Step Down DC Choppers

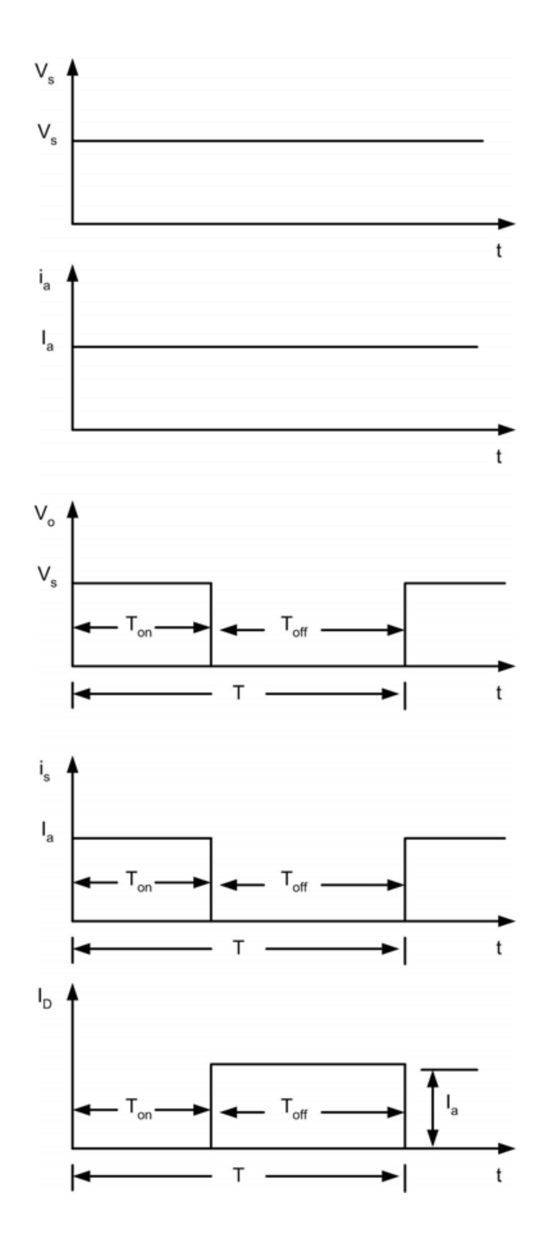
في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أقل من جهد المصدر، أي أن نسبة التشغيل أقل من واحد. ويبين شكل (٤ -٣) مقطع خافض باستخدام موسفت لتغذية حمل عبارة عن مقاومة وملف وبطارية، بينما يبين شكل (٤ -٤) أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة باعتبار أن محاثة الملف عالية بحيث يكون تيار الحمل متصل وخالي من التذبذبات.

عند تشغيل المقطع أي وضع الموسفت في حالة (On) يمر التيار من المصدر إلى الحمل من خلال الموسفت (Q)، أما في حال الفصل أي وضع الموسفت في حالة (Off) فإن التيار يدور في الحمل ودايود المسار الحر حتى يتم تشغيل (Q) مرة أخرى، وفي هذه الحالة يكون الجهد المتوسط على أطراف الحمل كما في المعادلة (٤ -١) حيث تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.



شكل (٤ -٣) دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الخافض باستخدام الموسفت





شكل (٤ -٤) موجات التيار والجهد دائرة مقطع تيار مستمر من النوع الخافض

مثال ٤ -١:

مقطع تيار مستمر من النوع الخافض يتم بواسطته التحكم في الجهد المسلط على حمل مادي مقاومته ١٥ أوم وكان جهد المصدر ٣٠٠ فولت وتردد المقطع واحد كيلو هرتز ونسبة تشغيله ٦٠٪. فإذا كان الفقد في الجهد على المقطع في حالة توصيله ٢فولت. احسب:

الزمن الدوري

زمن التشغيل

زمن الفصل

القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل

القيمة الفعالة للجهدعلى أطراف الحمل

القدرة المستهلكة في المقاومة

القدرة المسحوبة من المصدر

كفاءة المقطع

الحل

R=١٥ Ω, V_s= ٣٠٠, k=٠,٦, f=١ kHz,

أ) الزمن الدوري

$$T = \frac{1}{f} = ٠,٠٠١ \quad \text{sec.}$$

ب) زمن التشغيل

$$T_{on} = kT = ٠,٦(٠,٠٠١) = ٠,٠٠٠٦ \quad \text{sec.}$$

ت) زمن الفصل

$$T_{off} = (1-k)T = ٠,٤(٠,٠٠١) = ٠,٠٠٠٤ \text{ sec.}$$

ث) القيمة المتوسطة للجهد

$$V_o = kV_s = ٠,٦(٣٠٠ \square ٢) = ١٧٨,٨ \quad \text{volt}$$

ج) القيمة الفعالة للجهد

$$V_o = \sqrt{k}V_s = ٢٣٠,٨٣ \text{ volt}$$

ح) القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_o = k\frac{(V_s - V_d)^2}{R} = ٣٥٥٢,١٦ \quad \text{watt}$$

خ) القدرة المسحوبة من المصدر

$$P_s = k\frac{V_s(V_s - V_d)}{R} = ٣٥٧٦ \quad \text{watt}$$

د) الكفاءة

$$\eta = \frac{P_o}{P_s} = ٩٩,٣٣\%$$

٤ -٣ المقطعات الرافعة Step- Up DC Choppers

في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل أكبر من جهد المصدر. شكل (٤ -٥) يوضح مثال للمقطعات الرافعة يتكون من موسفت وملف عالي القيمة ودايود تم تركيبهم بالشكل المبين. عند تشغيل المقطع أي وضعه في حالة (On) فإن التيار يمر في الملف (L) لفترة طويلة حيث يتم تخزين طاقة في الملف وعند وضع المفتاح في حالة (Off) يتم تفريغها في الحمل ويمكن إثبات أن الجهد على أطراف الحمل:

$$v_o = \frac{\Delta I}{1-k} V_s \qquad \text{٤-٩}$$

حيث:

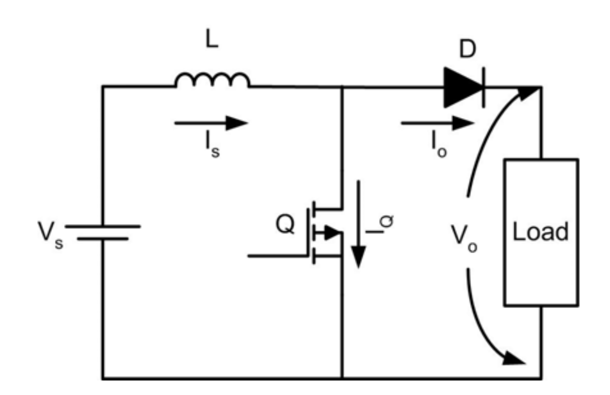
V_s جهد المصدر

ΔI الفرق بين القيمة العظمى والصغرى للتيار نتيجة لعملية الفصل والتوصيل

k نسبة التشغيل

v_o القيمة الحظية لجهد الخرج

ومن المعادلة (٩□٤) يمكن ملاحظة أن الجهد على أطراف الحمل يمكن التحكم فيه بالتحكم في نسبة التشغيل. ويمكن استخدام هذه الفكرة لنقل الطاقة من مصدر إلى آخر كما تستخدم لعمل الفرملة للمحركات الكهربائية بإعادة التوليد.



شكل (٤ -٥) دائرة مقطع التيار المستمر من النوع الرافع باستخدام الموسفت

أسئلة وتمارين على الوحدة الرابعة

١. اشرح فكرة عمل مقطع التيار المستمر.

٢. ما استخدامات مقطع التيار المستمر من النوع الخافض ؟

٣. ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:

-يستخدم مقطع التيار المستمر للتحويل من تيار مستمر إلى تيار متردد.

-في مقطع التيار المستمر من النوع الخافض تكون نسبة التشغيل أقل من واحد.

-في مقطع التيار المستمر من النوع الرافع تكون نسبة التشغيل أكبر من واحد.

٤. مقطع تيار مستمر من النوع الخافض يتم بواسطته التحكم في الجهد المسلط على حمل مادي مقاومته ١٥ أوم وكان جهد المصدر ٣٠٠ فولت وتردد المقطع واحد كيلو هرتز فإذا كان الفقد في الجهد على المقطع في حالة توصيلة ٢فولت.وكانت القدرة المستهلكة في المقاومة مقدارها ٥كيلو وات احسب:

نسبة التشغيل

زمن التشغيل

زمن الفصل

القيمة المتوسطة للجهد على أطراف الحمل

القيمة الفعالة للجهدعلى أطراف الحمل

القدرة المسحوبة من المصدر

كفاءة المقطع

٦. كرر السؤال الثالث إذا كان الفقد في الجهد على المقطع يساوي صفر.

٧. ارسم دائرة لمقطع خافض يستخدم لتغذية حمل يحتوي على محاثة عالية ثم ارسم أشكال موجات الجهد والتيار في الدائرة.

٨. ما مميزات مقطعات الموسفت بالمقارنة بمقطعات الثايرستور ؟

٩. اذكر طرق التحكم في الجهد باستخدام مقطعات التيار المستمر ؟

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



إلكترونيات القدرة

حاكمات الجهد المتناوب

حاكمات الجهد المتناوب



الجدارة: التعرف على أنواع واستخدامات حاكمات الجهد المتناوب

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. التعرف على الأشكال الأساسية لدوائر حاكمات الجهد المتناوب.
٢. كيفية رسم أشكال موجات التيار والجهد.
٣. فهم فكرة العمل ودراسة أداء حاكمات الجهد المتناوب في حالة الحمل المادي والحثي.
٤. تطبيق هذه الدوائر في العمليات الصناعية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

الوسائل المساعدة: جهاز عرض(بريجكتور).

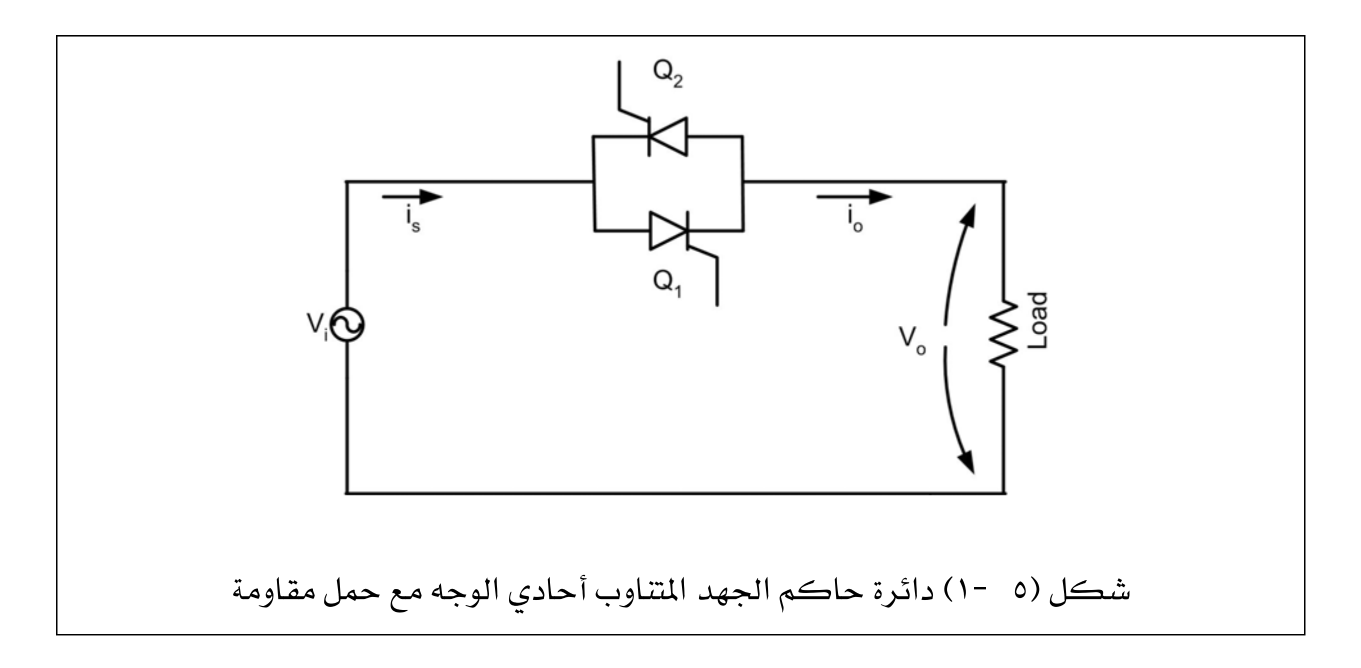
متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر دوائر وقياسات -٢ والوحدة الأولى من هذا المقرر.

حاكمات الجهد المتناوب AC Voltage Controllers

في الوحدة السابقة تناولنا كيفية التحكم في الجهد المستمر باستخدام مقطعات التيار المستمر بينما تتناول هذه الوحدة كيفية السيطرة والتحكم في الجهد المتردد باستخدام حاكمات الجهد المتناوب والتي تستخدم للتحويل من جهد متردد ثابت القيمة إلى جهد متردد متغير القيمة (محكوم)، ويتم ذلك باستخدام عناصر ألكترونيات القدرة مثل الثيرستور لتحقيق هذا الغرض.

٥ -١ فكرة عمل حاكمات الجهد المتناوب Theory Of Operation

لفهم كيفية عمل حاكمات الجهد المتناوب نبدأ بدراسة لدائرة بسيطة لحاكم جهد متناوب أحادي الوجه يستخدم لتغذية مقاومة كما في شكل (٥ -١)، وتتكون دائرة حاكم الجهد المتناوب من ثايرستورين متعاكسين Q_1, Q_2 ، يتم إشعال أحدهما في النصف الموجب من الموجة، بينما يتم إشعال الآخر في النصف السالب من الموجة



شكل (٥ -١) دائرة حاكم الجهد المتناوب أحادي الوجه مع حمل مقاومة

ويعتبر الهدف الأساسي لاستخدام حاكمات الجهد المتناوب هو التحكم في القيمة الفعالة للجهد. وهناك طريقتان لتنفيذ هذا الهدف:

٥ -١ -١ التحكم في فترات التشغيل والإيقاف On-Off Control

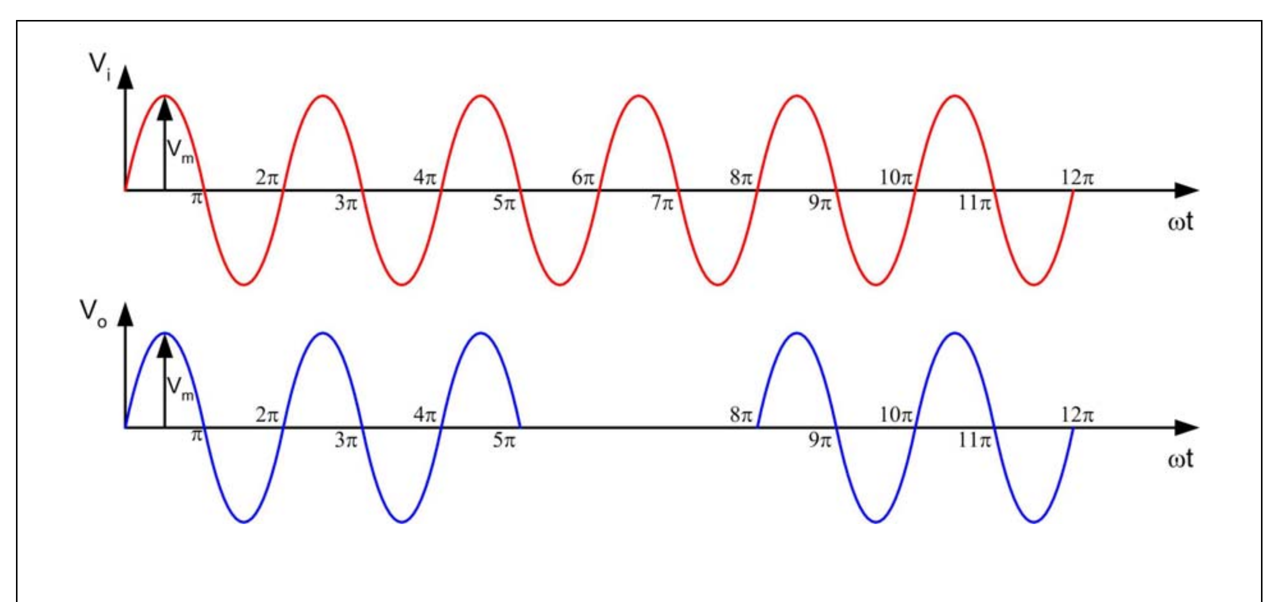
وفي هذه الحالة يتم توصيل Q_1, Q_2 لعدد صحيح من الدورات ثم فصلها لعدد آخر كما في شكل (٥ -٢)، وهكذا يتم التحكم في القيمة الفعالة للجهد، وتتميز هذه الطريقة بقلة التوافقيات الناتجة من عملية التوصيل والفصل للثيرستورات.

وتستخدم هذه الطريقة في الأنظمة الصناعية ذات الاستجابة البطيئة مثل التحكم في المحركات الكهربائية كبيرة الحجم أو التدفئة الصناعية، فإذا كانت القيمة الفعالة للمصدر "V_s" وعدد دورات التوصيل "n" وعدد دورات الفصل "m" فإن القيمة الفعالة للجهد يمكن حسابها كما يلي:

$$V_{orms} = \left[\frac{n}{2\pi(n+m)}\int_0^{2\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)\right]^2 = V_s\sqrt{\frac{n}{n+m}} = \sqrt{k}V_s$$	٥-١

حيث k هي نسبة التشغيل ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$k = \frac{n}{n+m}$$	٥-٢



شكل (٥ -٢) موجات الجهد لحاكم الجهد المتناوب (التحكم في فترات التشغيل والإيقاف)

مثال (٥ -١):

يستخدم حاكم جهد متناوب لتغذية حمل مادي مقاومته ١٠ أوم وكانت القيمة الفعالة لجهد المصدر ١٢٧ فولت عند تردد ٦٠ هرتز، يتم تشغيل الثيرستورات لعدد ٢٥ دورة وفصلها لعدد ٧٥ دورة، احسب التالي:

-نسبة التشغيل.

-القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل.

-التيار المار بالحمل.

-القدرة المستهلكة في المقاومة.

-القدرة الظاهرية.

-معامل القدرة.

-أقصى تيار في الثيرستور.

الحل

-نسبة التشغيل

$$k = \frac{n}{n+m} = ٠,٢٥$$

-القيمة الفعالة للجهد

$$V_{orms} = V_s \sqrt{k} = ٦٣,٥ \text{ volt}$$

- القيمة الفعالة لتيار الحمل

$$I_{orms} = \frac{V_{orms}}{R} = ٦,٣٥ \text{ amp.}$$

-القدرة المستهلكة في المقاومة

$$P_o = I_{orms}{}^2 R = ٤٠٣,٢٢٥ \text{ watt}$$

-القدرة الظاهرية

$$VA = V_s I_s = ٨٠٦,٤٥ \text{ watt}$$

-معامل القدرة

$$PF = \frac{P_o}{VA} = \sqrt{k} = ٠,٥ \text{ volt}$$

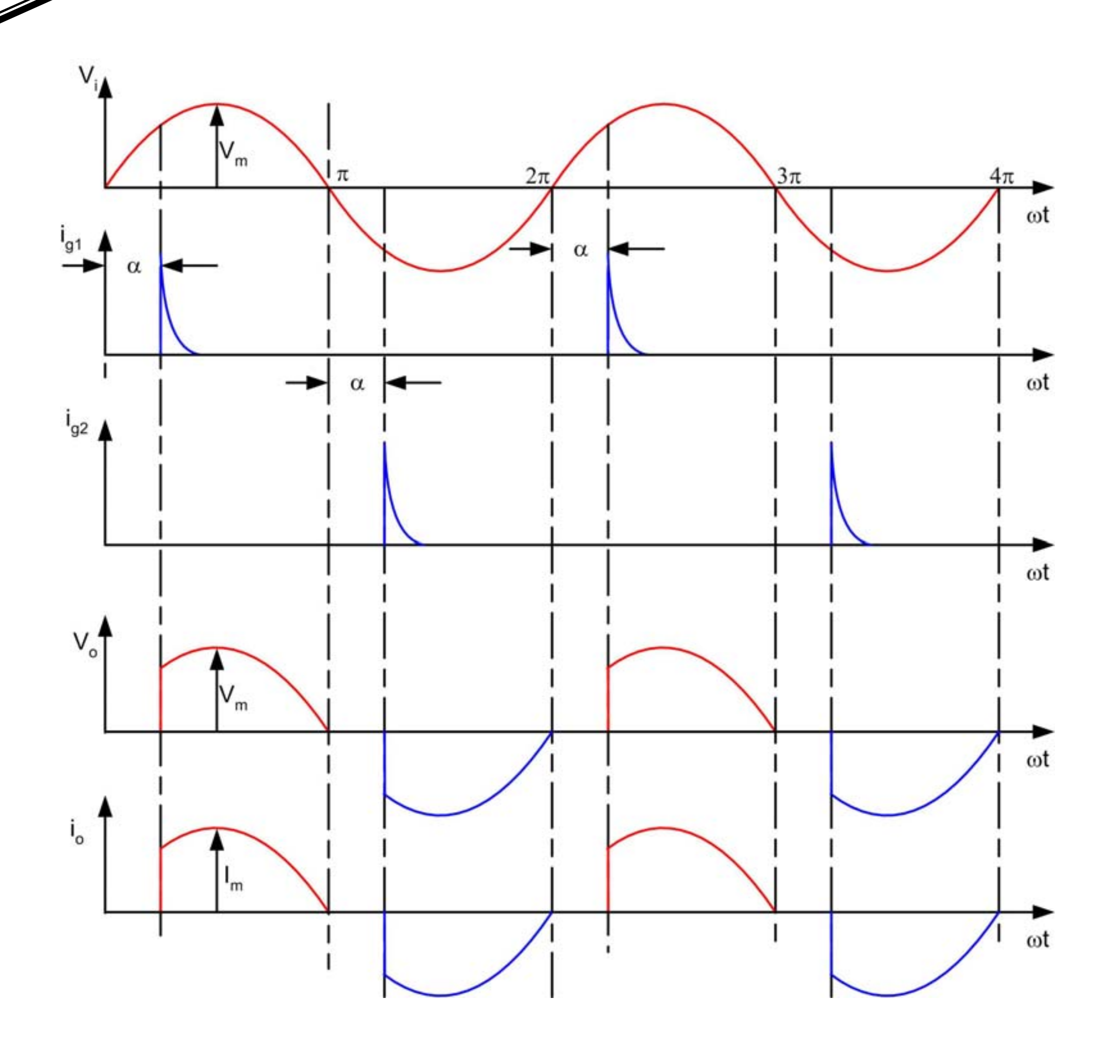
-أقصى تيار في الثايرستور

$$I_m = \frac{V_m}{R} = ١٩,٩٦ \text{ amp.}$$

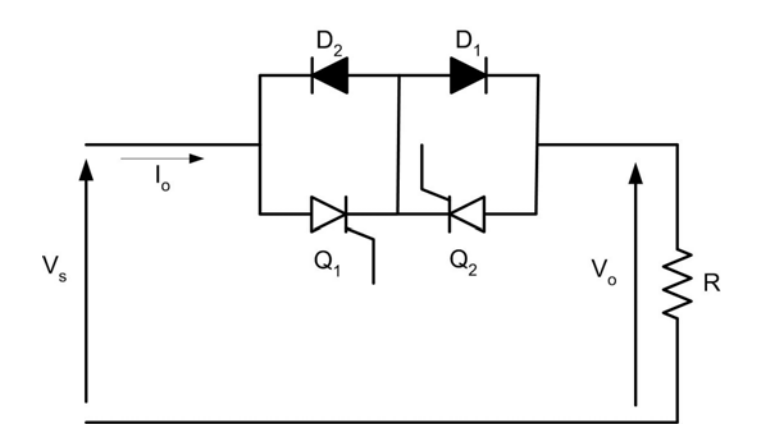
٥ -١ -٢ التحكم في زاوية إشعال الثيرستور **Phase Angle Control**

وهذه الطريقة هي الأكثر انتشارا حيث يتم التحكم في زاوية إشعال كل من Q_2 ,Q_1 وتكون أشكال الموجات عند تغذية حمل مادي كما في شكل (٥ -٣). وبتغيير قيمة زاوية الإشعال من صفر إلى ١٨٠ تتغير القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل من "V_s" إلى صفر.

يمكن ملاحظة أن نبضات الإشعال للثايرستورات يجب أن تكون معزولة عن بعضها البعض مما يؤدي إلى ارتفاع تكلفة دوائر الإشعال حيث نحتاج إلى دائرتي عزل، ويمكن التخلص من هذا العيب باستخدام الدائرة المبينة في شكل (٥ -٤)، حيث يتم توصيل دائرة الكاثود المشترك للثيرستوران. في هذه الحالة يتم تشغيل كل من Q_1 و D_1 معا في النصف الموجب من الموجه، بينما يتم تشغيل كل من Q_2 و D_2 معا في النصف السالب من الموجة. وفي هذه الحالة سوف نحتاج إلى دائرة عزل واحدة ولكن ذلك على حساب الكفاءة حيث ستزداد المفقودات نتيجة لاستخدام الدايودين.



شكل (٥ -٣)موجات الجهد والتيار للحاكم أحادي الوجه مع حمل (مقاومة) عن طريق التحكم في زاوية الإشعال



شكل (٥ -٤) دائرة حاكم جهد متناوب باستخدام الكاثود المشترك

٥ -٢ حاكم الجهد المتناوب أحادي الوجه مع حمل مادي وحثي

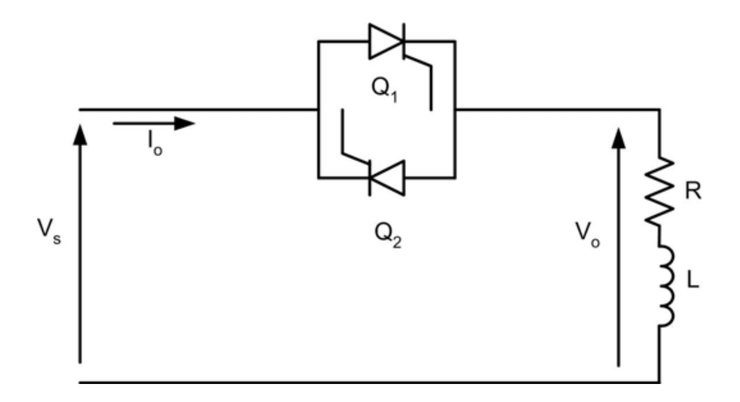
Single Phase Controller with inductive load

نتيجة لأن معظم الأحمال في الحياة العملية تحتوي على أحمال حثية فمن المناسب لنا دراسة أداء حاكم الجهد المتناوب عندما يكون الحمل مادي وحثي. شكل (٥ -٥) يوضح دائرة لحاكم جهد متناوب أحادي الوجه يستخدم لتغذية حمل مكون من مقاومة وملف. وتعتمد أشكال موجات الجهد والتيار في هذه الحالة على زاوية الإشعال وزاوية الطور للحمل ويمكن تقسيمها إلى حالتين نتناولهما فيما يلي:

الحالة الأولى: زاوية الإشعال "α" تكون أكبر من زاوية الطور "ϕ" وأقل من ١٨٠ درجة

$$\phi \le \alpha \le \pi$$

إذا فرض وتم إشعال الثيرستور "Q_1" عند زاوية "α" وذلك في النصف الموجب من الموجة، ونتيجة لذلك فإن التيار سيمر من المصدر إلى الحمل وذلك من خلال الثيرستور "Q_1" ونتيجة لوجود الحمل الحثي فإن تيار الحمل لن يصل إلى صفر عند نهاية الموجة الموجبة وحتى مع بداية النصف السالب من الموجة ويستمر كذلك حتى يصل التيار المار في الثيرستور "Q_1" إلى الصفر. عندئذ يفصل الثيرستور "Q_1" ويكون الجهد على أطراف الحمل مساويا للصفر ويستمر الوضع كذلك حتى يتم إشعال الثيرستور "Q_2" عند زاوية "$\pi+\alpha$" ويتكرر ما حدث في النصف الموجب من الموجة مع النصف السالب وهكذا يكون التيار في هذه الحالة متقطع كما في شكل (٥ -٦)، وتتم السيطرة على الجهد الناتج من حاكم الجهد المتناوب عن طريق زاوية الإشعال.



شكل (٥ -٤) دائرة حاكم جهد متناوب أحادي الوجه مع حمل مادي وحثي

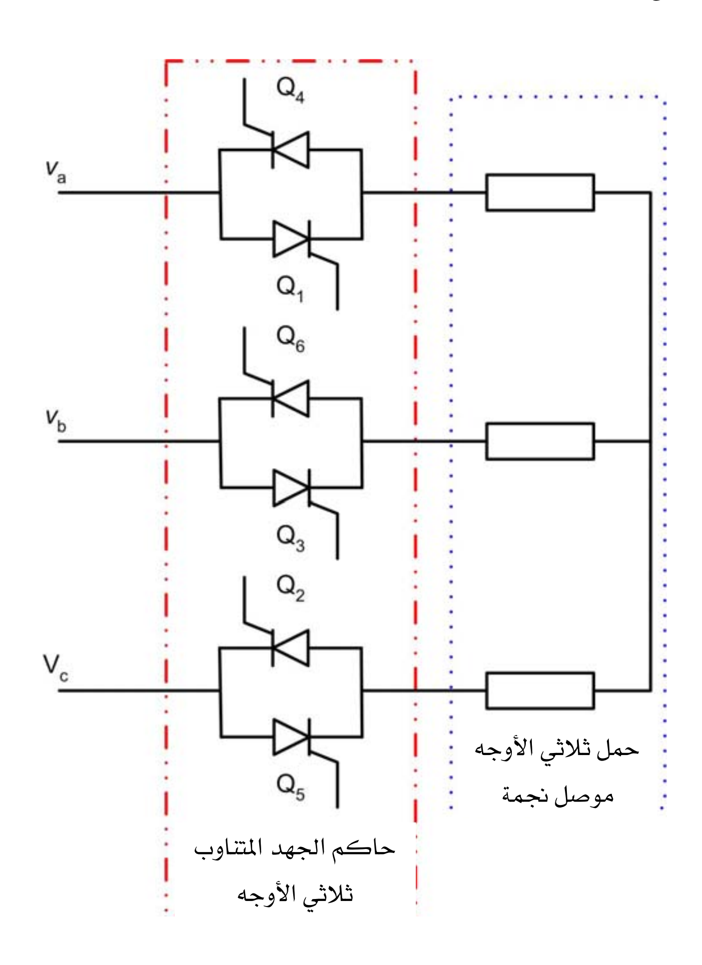
شكل (٥ -٦) موجات الجهد والتيار لحمل مادي وحثي ($\phi \leq \alpha \leq \pi$)

الحالة الثانية: زاوية الإشعال "α" تكون أقل من زاوية الطور "ϕ"

$$\phi > \alpha$$

وفي هذه الحالة يكون كل من التيار والجهد جيبي متصل حيث يكون المصدر موصل إلى الحمل من خلال الثيرستور "Q_1" في خلال الفترة من □إلى $\pi+\phi$ و الثايرستور "Q_2" في خلال الفترة من $\pi+\phi$ إلى $2\pi+\phi$ وبذلك يفقد حاكم الجهد المتناوب السيطرة على الجهد الناتج.

ويمكن تقسيم حاكمات الجهد المتناوب إلى حاكمات أحادية الوجه والتي سبق تناولها أوحاكمات ثلاثية الوجه كما في شكل (٥ -٧).



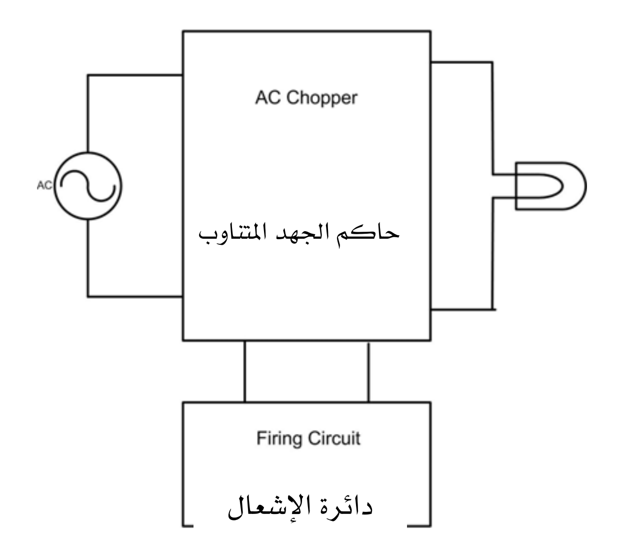
شكل (٥ -٧) دائرة حاكم الجهد المتردد ثلاثي الأوجه

٥ -٣ تطبيقات

تستخدم حاكمات الجهد المتناوب في العديد من التطبيقات الصناعية وسنتناول تطبيقين من هذه التطبيقات فيما يلي:

٥ -٣ -١ التحكم في شدة الإضاءة

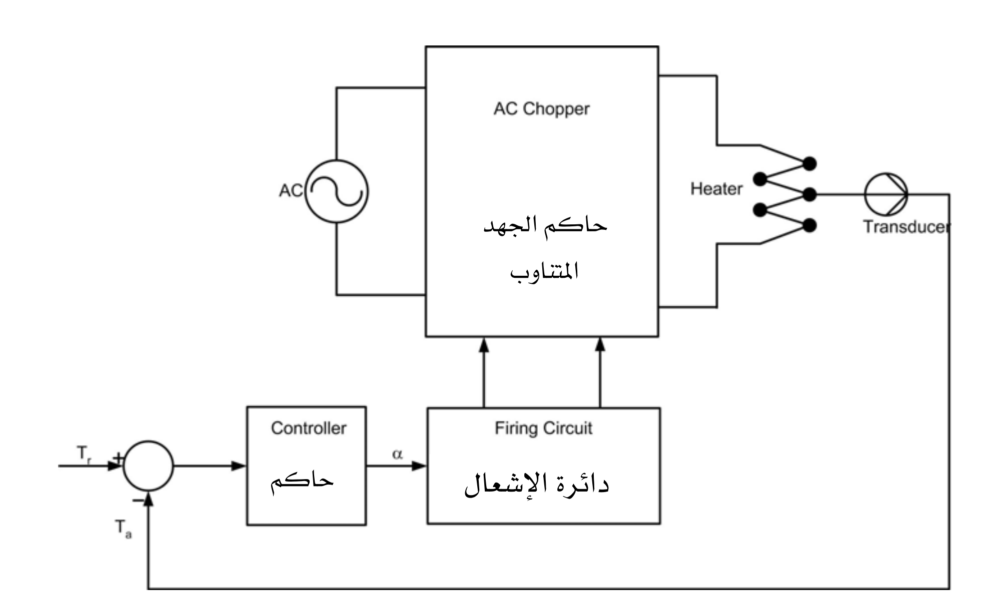
شكل (٥ -٨) يبين الرسم التخطيطي لكيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في شدة الإضاءة، حيث يستخدم حاكم الجهد المتناوب (ترياك) بين مصدر التيار المتردد والحمل (لمبات الإضاءة)، وبتغيير زاوية الإشعال للترياك يتم التحكم في القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل وبالتالي في شدة الإضاءة. ويعتبر التحكم بهذه الطريقة من نوع التحكم ذو الدائرة المفتوحة.



شكل (٥ -٨) استخدام حاكم الجهد متناوب للتحكم في شدة الإضاءة

٥ -٣ -٢ التحكم في درجة الحرارة

شكل (٥ -٩) يبين الرسم التخطيطي لكيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب في التدفئة الصناعية وذلك باستخدام نظام التحكم ذي الدائرة المغلقة، حيث تتم مقارنة درجة الحرارة المطلوبة "T_r" مع درجة الحرارة الفعلية "T_a" التي يتم قياسها باستخدام حساس لدرجة الحرارة، ويؤخذ الفارق بينهما من خلال الحاكم المستخدم وتحدد زاوية الإشعال المناسبة حيث يتم تشغيل حاكم الجهد المتناوب بناء على زاوية الإشعال التي تم حسابها باستخدام الحاكم، فعندما يراد زيادة درجة حرارة المكان فإن "T_r" تزيد وبالتالي يزيد الخطأ "T_r-T_a" وتقل زاوية الإشعال فتزيد القيمة الفعالة للجهد ويزيد التيار المار من خلال المدفأة فترتفع درجة الحرارة الناتجة، وعندما يراد تقليل درجة الحرارة فإن "T_r" تقل وبالتالي يقل الخطأ "T_r-T_a" وتزداد زاوية الإشعال وبناء عليه القيمة الفعالة للجهد ويقل التيار المار من خلال المدفأة وبذلك تقل درجة الحرارة الناتجة.



شكل (٥ -٩) استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في درجة الحرارة

أسئلة وتمارين على الوحدة الخامسة

١. اشرح فكرة عمل حاكم الجهد المتناوب.

٢. ما طرق التحكم في القيمة الفعالة للجهد؟

٣. اشرح كيفية التحكم في القيمة الفعالة باستخدام فترات التشغيل والإيقاف.

٤. ارسم دائرة حاكم الجهد المتناوب ذو الكاثود المشترك ووضح أهم مميزاتها.

٥. ارسم أشكال موجات الجهد والتيار لحاكم جهد متناوب يغذي حمل مادي وحثي علما بأن زاوية الطور للحمل أقل من زاوية الإشعال.

٦. كرر السؤال السابق عندما تكون زاوية الطور أكبر من زاوية الإشعال.

٧ . يستخدم حاكم جهد متناوب لتغذية حمل مادي مقاومته ١٠ أوم وكانت القيمة الفعالة لجهد المصدر ١٢٧ فولت عند تردد ٦٠ هرتز، يتم تشغيل الثيرستورات لعدد n دورة وفصلها لعدد m دورة، احسب نسبة التشغيل للحصول على تيار مقداره ٦ أمبير، ثم احسب:

-القيمة الفعالة للجهد على أطراف الحمل.

-النسب n, m

-القدرة المستهلكة في المقاومة.

-القدرة الظاهرية.

-معامل القدرة.

-أقصى تيار يمر في الثيرستور.

٨. ارسم دائرة لتوضيح كيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في شدة الإضاءة.

٩. اشرح مع الرسم كيفية استخدام حاكم الجهد المتناوب للتحكم في درجة الحرارة.

١٠. اقترح دائرة للتحكم في درجة حرارة غرفة يتم تبريدها باستخدام مكيف يتم تغذيته من خلال حاكم جهد متناوب يعمل بنظام فترات الإيقاف والتشغيل.

إلكترونيات القدرة

العواكس



٦

الجدارة: التعرف على أنواع واستخدامات العواكس.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. رسم وتوضيح الأشكال الأساسية للعواكس.
٢. بناء العاكس أحادي الوجه.
٣. بناء العاكس ثلاثي الأوجه.
٤. التحكم في جهد وتردد خرج العاكس.
٥. تطبيق هذه الدوائر في العمليات الصناعية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات

الوسائل المساعدة: جهاز عرض(بريجكتور).

متطلبات الجدارة: اجتياز مقرر دوائر وقياسات -٢ والوحدة الأولى من هذا المقرر.

العواكس Inverters

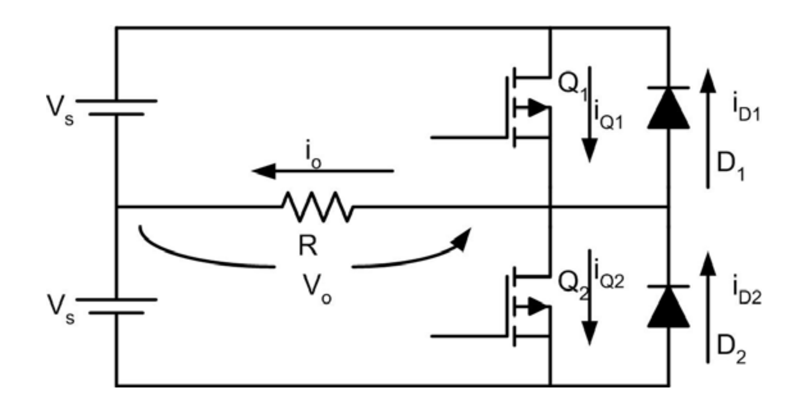
تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر ذي جهد ثابت القيمة إلى تيار متردد يمكن التحكم في جهده أو تردده أو فيهما معا ، وهناك طرق مختلفة للتحكم في قيمة الجهد الناتج من استخدام العاكس مثل التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخل بأي من الطرق السابقة أو التحكم في الجهد المتردد الناتج بطريقة تغيير عرض النبضة (PWM) بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم في الدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر إلكترونيات القدرة المستخدمة.

ويعتبر العاكس من الناحية العملية عاكسا مناسبا كلما كان شكل موجة الجهد الناتجة عنه أقرب إلى الموجة الجيبية ، لذا يوصل مرشح (Filter) مكون من مقاومة ومكثف وملف على خرج العاكس للتخلص من التوافقيات غير المرغوب فيها ، كما أن استخدام عناصر إلكترونيات القدرة ذات السرعات العالية في بناء العواكس يقلل أيضا من هذه التوافقيات. وتستخدم العواكس في عدد كبير من التطبيقات الصناعية مثل مصادر القدرة غيرالمنقطعة (UPS) والتحكم في سرعة المحركات الحثية والمحركات المتزامنة والتي تستخدم في التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى سرعات متغيرة.

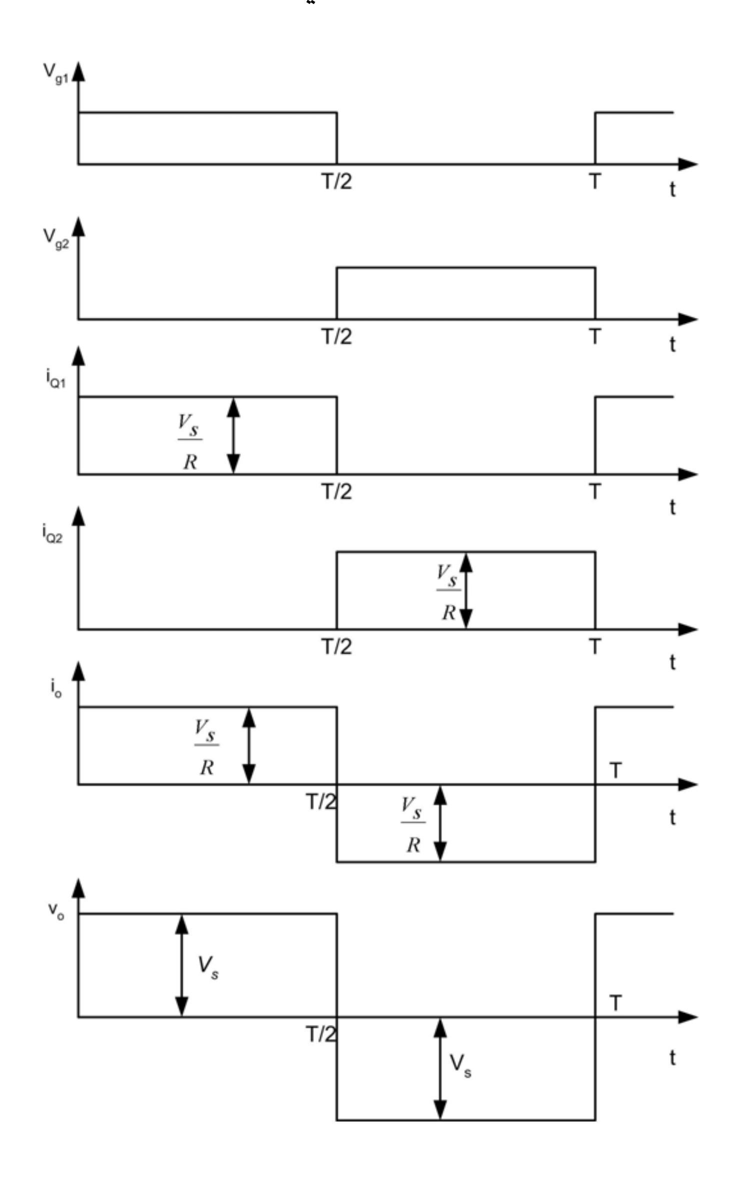
ويمكن تقسيم العواكس حسب نوع الجهد الناتج إلى عواكس أحادية الوجه وعواكس ثلاثية الأوجه.

٦ -١ فكرة العمل Theory of Operation

يمكن فهم فكرة عمل العواكس بدراسة الدائرة البسيطة والمبينة بشكل (٦ -١) والتي تتكون من اثنين موسفت (Q_1, Q_2) واثنين دايود (D_1, D_2) وحمل على شكل مقاومة ومصدرين للجهد المستمر قيمة كل منهم V_s. عند تشغيل Q_1 يمر التيار من المصدر الأول ومن خلال Q_1 إلى الحمل، ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره (V_s) وذلك طوال فترة التوصيل (T/٢)، وعند تشغيل Q_2 يمر التيار من المصدر الثاني ومن خلال Q_2 إلى الحمل ويكون الجهد على أطراف الحمل مقداره ($-V_s$) وذلك طوال فترة التوصيل (T/٢)، وعلى ذلك تكون أشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (٦ -٢). ويسمى هذا العاكس بعاكس نصف قنطرة. وعندما يحتوي الحمل على ممانعة حثية فإن التيار في الحمل لا يمكن أن يغير اتجاهه فجأة نتيجة لإطفاء (فصل) Q_1 ، لذلك يستمر التيار في المرور في الحمل من خلال D_2 والمصدر السفلي حتى يصل إلى الصفر حيث يتم توصيل Q_2 ، وكذلك الحال بالنسبة إلى D_1 حيث يستخدم كمسار للتيار مع المصدر العلوي عند إطفاء Q_2.



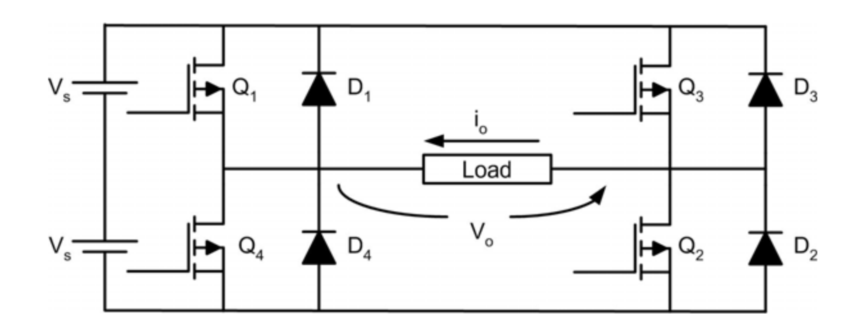
شكل (٦ -١) عاكس أحادي الوجه نصف قنطرة



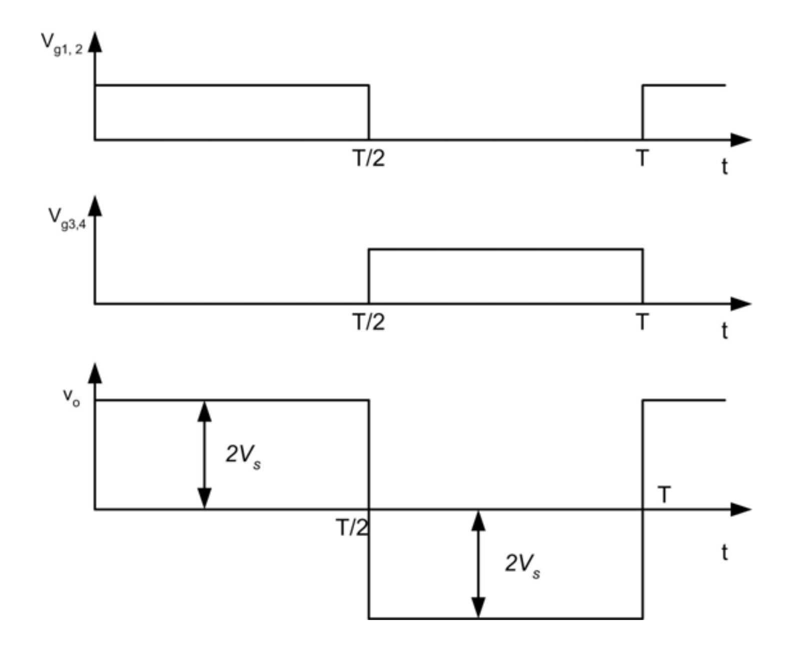
شكل (٦ -٢) موجات التيار والجهد لعاكس أحادي الوجه نصف قنطرة مع حمل عبارة عن مقاومة

٦ -٢ عاكس قنطرة أحادي الوجه Single- Phase Bridge Inverter

يتكون عاكس القنطرة من أربع عناصر توصيل (موسفت أو ترانزستور قدرة ....إلخ) وأربعة دايود يتم توصيلهم على شكل قنطرة كما في شكل (٦ -٣)، حيث يتم تشغيل كل من Q_1, Q_2 معا فيكون الجهد على أطراف الحمل ($2V_s$). وعند تشغيل Q_3, Q_4 معا يظهر الجهد ($-2V_s$) على أطراف الحمل كما في شكل (٦ -٤). ويستخدم كل من D_1, D_2 كمسار للتيار عند إطفاء Q_3, Q_4 وذلك حتى يصل تيار الحمل إلى صفر وفي خلال هذه الفترة تعاد القدرة إلى المصدر، وبالمثل D_3, D_4 يستخدمان لنفس الهدف عند إطفاء Q_1, Q_2.



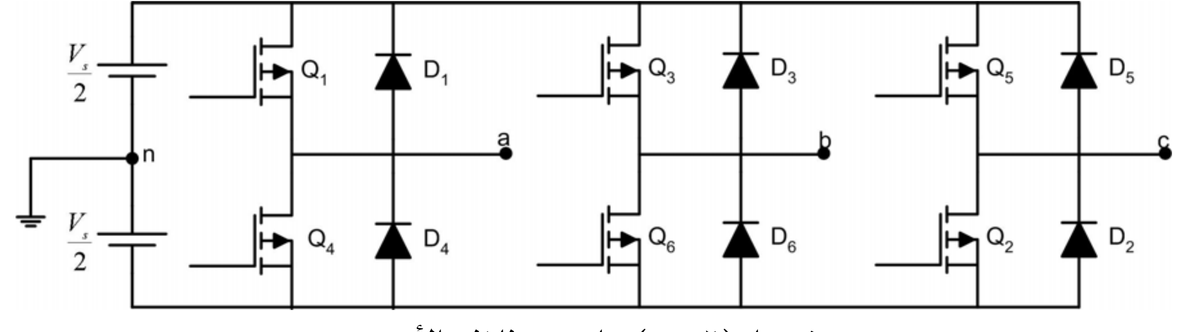
شكل (٦ -٣) عاكس قنطرة أحادي الوجه



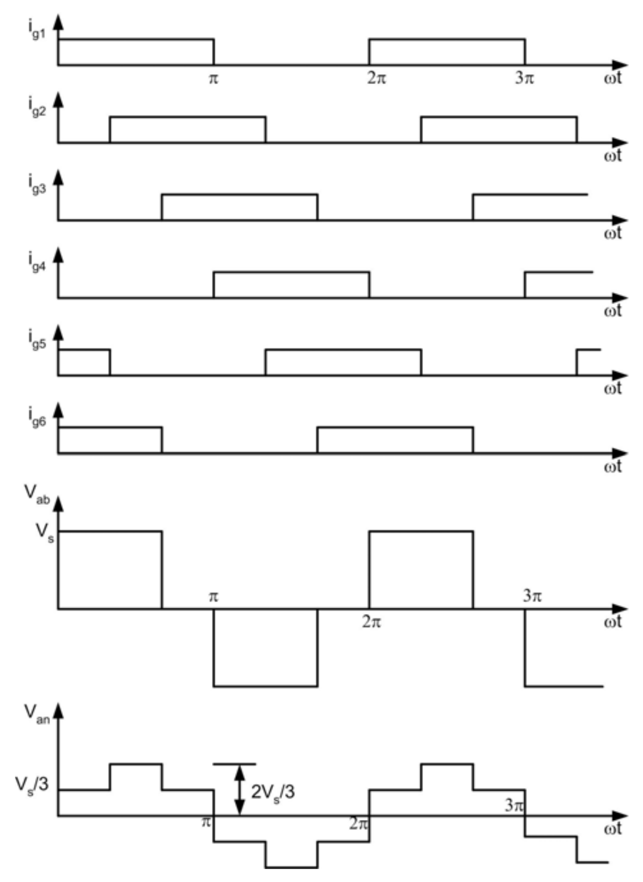
شكل (٦ -٤) موجات التيار والجهد لعاكس قنطرة أحادي الوجه

٦ -٣ عاكس قنطرة ثلاثي الأوجه Three- Phase Bridge Inverter

تستخدم العواكس ثلاثية الأوجه في التطبيقات ذات القدرات العالية، ومن الممكن أن نحصل على عاكس ثلاثي الأوجه بعدة طرق أهمها عاكس القنطرة ثلاثي الأوجه كما في شكل (٦ -٥). ويتكون من ست موسفت وستة دايودات حيث يتم إشعال كل موسفت لمدة 180^{o} وفصله لمدة 180^{o} أخرى ويتم ذلك بالتتابع كما في شكل (٦ -٦).



شكل (٦ -٥) عاكس ثلاثي الأوجه



شكل (٦ -٦) موجات التحكم والجهد الناتج من العاكس ثلاثي الأوجه ذو مصدر الجهد

أسئلة على الوحدة السادسة

١. ما هو العاكس؟
٢. اشرح مع التوضيح بالرسم فكرة عمل العاكس.
٣. ما أنواع العواكس؟
٤. ما ه الفرق بين عاكس نصف قنطرة وعاكس القنطرة؟
٥. ما هي فوائد الدايودات المستخدمة في دوائر العواكس؟
٦. ضع ✓ أو × أمام العبارات التالية. ثم اكتب العبارة الصحيحة:
-تستخدم العواكس للتحويل من تيار مستمر إلى تيار متردد.
-يمكن التحكم في الجهد الناتج من العاكس بينما لايمكن التحكم في التردد.
-يمكن التحكم في الجهد المستمر الناتج من العاكس.
٧. ارسم دائرة عاكس أحادي الوجه قنطرة وارسم أشكال موجات الجهد والتردد.
٨. كرر السؤال السابق لعاكس ثلاثي الأوجه.

المراجع العربية والأجنبية

١ - إلكترونيات القدرة، د/مظفر أنور النعمة، د/ سنان محمود عطار باشي، د/ ضياء على النعمة. جامعة الموصل -العراق، ١٩٨٤م

٢ - الإلكترونيات الاستطاعية والمتحكمات، ترجمة وإعداد م/ عمار الكردي وآخرين، شعاع للنشر والتوزيع -سورية ، ٢٠٠٠م

المراجع الأجنبية:

٣. An Introduction to Power Electronics*, B. M. Bird, K. G. King, and D. A. G. Pedder, John Wiley & Sons, ١٩٩٣.*

٤. Modern power Electronics*, B. K. Bose*, *IEEE Press Publication, ١٩٩٢.*

٥. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications, *M. H. Rashid, Prentice Hall, ١٩٩٤.*

٦. Power Electronics: Converters, Applications, and Design, *N. Mohan, T. M. Undeland and W. T. Robbins, Jon Wiley & Sons, ١٩٩٤*

الفهرس

مقدمة

١. أشباه الموصلات المستخدمة في دوائر إلكترونيات القدرة................ ....٢

١ -١ أنواع دوائر إلكترونيات القدرة.. .٢

١ -١ -١ الموحد (المقوم) غير المحكوم ٣

١ -١ -٢ الموحد (المقوم) المحكوم ٣

١ -١ -٣ حاكم الجهد المتردد ٣

١ -١ -٤ مقطع التيار المستمر... ....٤

١ -١ -٥ عاكس التيار... ....٤

١ -٢ عناصر أشباه الموصلات ذات القدرة...٥

١ -٣ دايود القدرة ٥

١ -٣ -١ دايود الأغراض العامة ٧

١ -٣ -٢ الدايود سريع الاستجابة ٨

١ -٣ -٣ دايود شوتكي ٨

١ -٤ الثيرستور وأنواعه المختلفة...٩

١ -٤ -١ تركيب الثيرستور وتشغيله ٩

١ -٤ -٢ خواص الثيرستور ١٠

١ -٤ -٣ طرق إشعال الثيرستور ١٢

١ -٤ -٤ طرق إيقاف الثيرستور (الإخماد) ١٣

١ -٤ -٥ حماية الثيرستور ١٤

١ -٤ -٦ أنواع الثيرستور ١٦

١ -٥ ترانزستور القدرة ١٨

١ -٥ -١ الترانزستور ثنائي القطبية ١٨

١ -٥ -٢ ترانزستور تأثير المجال ذو البوابة المعزولة ١٩

١ -٥ -٢ ترانزستور ثنائي القطبية ذو البوابة المعزولة ٢٠

٢. دوائر الموحدات غير المحكومة.......................... ....٢٣

٢ -١ دوائر التوحيد أحادية الوجه ٢٣
٢ -١ -١ موحد نصف موجة الأحادي الوجه ٢٣
٢ -١ -٢ موحد الموجة الكاملة ذو نقطة المنتصف الأحادي الوجه...... ....٢٨
٢ -١ -٣ موحد القنطرة ذو الموجة الكاملة أحادي الوجه ٣٢
٢ -٢ دوائر التنعيم والتنقية ٣٤
٢ -٣ دوائر التوحيد ثلاثية الأوجه...٣٦
٢ -٤ تطبيقات ٣٨

٣. الموحدات المحكومة ٤٦
٣ -١ موحد أحادي نصف موجة محكوم ٤٦
٣ -١ -١ موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي ٤٦
٣ -١ -٢ موحد أحادي الوجه نصف موجة محكوم مع حمل مادي وحثي ٤٩
٣ -٢ موحد أحادي الوجه موجة كاملة نصف محكوم................................ ....٥٠
٣ -٣ موحد أحادي الوجه موجة كاملة محكوم..٥٣
٣ -٤ الموحد المزدوج أحادي الوجه...٥٦
٣ -٥ الموحد ثلاثي الأوجه نصف موجة المحكوم...٥٧
٣ -٦ الموحد ثلاثي الأوجه موجة كاملة نصف محكوم..٦٠
٣ -٧ الموحد ثلاثي الوجه موجة كاملة محكوم...٦١
٣ -٨ الموحد المزدوج ثلاثي الأوجه...... ....٦٣
٣ -٩ تطبيقات ٦٣

٤. مقطعات التيار المستمر ٧٠
٤ -١ نظرية عمل مقطعات التيار المستمر...٧٠

٤ -٢ المقطعات الخافضة...٧٣
٤ -٣ المقطعات الرافعة..٧٦

٥. حاكمات الجهد المتناوب ٧٩
٥ -١ فكرة عمل حاكمات الجهد المتناوب.. ٧٩
٥ -١ -١ التحكم في فترات التشغيل والايقاف ٨٠
٥ -١ -٢ التحكم في زاوية إشعال الثيرستور..... .. .. ٨٢
٥ -٢ حاكم الجهد المتناوب أحادي الوجه مع حمل مادي وحثي..... .... ٨٤
٥ -٣ تطبيقات.......................... .... ٨٦
٥ -٣ -١ التحكم في شدة الإضاءة ٨٧
٥ -٣ -٢ التحكم في درجة الحرارة ٨٧

٦. العواكس ٩١
٦ -١ فكرة العمل ٩١
٦ -٢ عاكس قنطرة أحادي الوجه.. ٩٣
٦ -٣ عاكس قنطرة ثلاثي الأوجه.. ٩٣

المراجع العربية والأجنبية ٩٦

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS